



Eduardo Miguel Pinto Seduven

Licenciado em Ciências de Engenharia do Ambiente

Desempenho ambiental do transporte rodoviário pesado em Portugal

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Perfil de Engenharia de Sistemas Ambientais

Orientador: Prof. Doutor João Miguel Dias Joanaz de Melo,
Professor Auxiliar com Agregação, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria Paula Baptista da Costa Antunes
Arguente: Prof. Doutor Nuno Miguel Ribeiro Videira Costa
Vogal: Prof. Doutor João Miguel Dias Joanaz de Melo



Setembro de 2015

Desempenho ambiental do transporte pesado em Portugal.

Copyright © Eduardo Miguel Pinto Seduvel, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que contribuíram de forma directa ou indirecta, não só para a elaboração da presente dissertação, como para todo o meu percurso académico.

Em primeiro lugar gostaria de endereçar um forte e sincero agradecimento ao Professor João Joanaz de Melo. A disponibilidade e partilha de valiosos conhecimentos por parte do Professor foram fundamentais para a realização da presente dissertação.

Queria expressar a minha gratidão ao António Galvão. A sua ajuda, conhecimentos e boa disposição foram uma importante mais-valia.

Um forte agradecimento aos meus pais, que me proporcionaram todas as condições para um bem-sucedido percurso académico. A vossa dedicação e apoio incondicional foram essenciais. Queria igualmente deixar um especial agradecimento à família pelo constante apoio e amizade.

Agradeço ao João pela constante companhia, amizade e boa disposição. Foram, sem dúvida, uma grande ajuda ao longo deste percurso.

Um agradecimento ao Tiago, companheiro em intermináveis sessões de trabalho.

Agradeço aos amigos que me apoiaram e acompanharam ao longo destes anos de faculdade. Na memória ficam incontáveis momentos de diversão e boa disposição.

Um agradecimento ao pessoal com quem partilhei de perto este processo de realização da dissertação, em especial ao Zé, à Rita e à Diana.

Por último, um agradecimento muito especial à Catarina. Sem ti tudo teria sido mais difícil. Por mais voltas que a vida dê nunca me esquecerei do teu apoio, carinho e dedicação.

Resumo

Os transportes rodoviários são essenciais para a sociedade actual. Deles depende directamente a mobilidade de milhões de pessoas diariamente, assim como o funcionamento de diversos sectores económico em Portugal e no mundo. Existem diversos estudos focados na pressão ambiental associada à operação de veículos pesados. Todavia, o estudo de pressões inerentes às restantes fases do ciclo de vida permanece pouco desenvolvido carecendo de informação comparável.

O objectivo da presente tese passa por avaliar o desempenho ambiental do transporte pesado rodoviário a nível nacional, através da aplicação da metodologia de análise de ciclo de vida (ACV). Na fase de quantificação do desempenho ambiental foi utilizada a metodologia *EcoBlok* considerando o uso de recursos e emissões de poluentes.

No ano de 2013 o transporte pesado de mercadorias consumiu 12,8 hm³ eq. de água e 3 097 kt eq. de recursos; ocupou 119 km².ano eq. de solos; emitiu 3 253 kt CO₂ eq. de GEE; 121 kt NO_x eq. de poluentes atmosféricos; 197 kt N eq. de poluentes para o solo e meios hídricos e 1,3 kg TCDD eq. de dioxinas e furanos. A fase de operação é a que mais contribui para o total de pressões contabilizadas no subsector mencionado.

O transporte de passageiros registou, para o total da frota activa em 2013 um total de 1,7 hm³ eq. de água extraída; 221 kt eq. de recursos consumidos; 14,6 km².ano eq. de solos usados; 234 kt CO₂ eq. de GEE; 10,4 kt NO_x eq. de poluentes atmosféricos; 16,9 kt N eq. de emissões para o solo e meios hídricos e 0,1 kg TCDD eq. de dioxinas e furanos emitidos. O destaque vai igualmente, para a fase de operação, a que mais contribui para a pressão total averiguada.

Os resultados e conclusões obtidas ao longo do estudo podem revelar-se úteis para a concepção de políticas de transporte e tomada de decisão, na medida em que permitem a comparação com o desempenho ambiental de outros modos e sistemas de transporte.

Palavras-chave: transporte rodoviário pesado; mercadorias; passageiros; análise de ciclo de vida; pressões ambientais; *EcoBlok*.

Abstract

Road vehicles are essential to modern society. Millions of people depend on them on a daily basis, as well as the regular operation of economy in Portugal and worldwide. There are several studies focused on the environmental pressure generated by the operation of heavy duty vehicles. However, the accounting of pressures associated with other life cycle phases remain underdeveloped due to the lack of comparable information.

The main goal of this thesis is to evaluate the environmental performance of heavy road transportation in Portugal through the application of life cycle assessment (LCA) methodology. In order to evaluate the environmental performance, the *EcoBlok* methodology was used considering resource use and pollution emission.

In the year of 2013, goods transportation consumed 12,8 hm³ eq. of water and 3 097 kt eq. of resources; occupied 119 km².year eq. of soils; emitted 3 253 kt CO₂ eq. of GHG; 121 kt NO_x eq. of criteria pollutants; 197 kt N eq. of pollutants on soils and water resources along with 1,3 kg TCDD eq. of dioxins and furans. The operation is the life cycle phase that holds the majority of the total pressure accounted for this particular subsector.

Passenger transportation activity recorded for its 2013 fleet the amount of 1,7 hm³ eq. of extracted water; 221 kt eq. of consumed resources; 14,6 km².year eq. of used soils; 234 kt CO₂ eq. of emitted GHG; 10,4 kt NO_x eq. of emitted criteria pollutants; 16,9 kt N eq. for pollution of soils and water resources and 0,1 kg TCDD eq. of released dioxins and furans. The operation phase is once again the major responsible for the total accounted pressure.

The results and conclusion produced throughout the work can be used as a valid source for both policy and decision making, as they allow the comparison with environmental performance of other road transportation modes.

Keywords: heavy duty vehicles; goods; passengers; life cycle analysis; environmental pressure; *EcoBlok*

Índice

1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	4
1.3 Estrutura da dissertação	4
2 Revisão de literatura	7
2.1 Transporte pesado de mercadorias	7
2.1.1 Enquadramento do sector	7
2.1.2 ACV de veículos pesados de mercadorias	12
2.2 Transporte pesado de passageiros	18
2.2.1 Enquadramento do sector	18
2.2.2 ACV de veículos pesados de passageiros	22
2.3 Análise de ciclo de vida	28
2.3.1 Enquadramento	28
2.3.2 Metodologia Análise de Ciclo de Vida	29
2.3.3 Benefícios e limitações de um estudo ACV	32
2.3.4 <i>Streamlined ACV</i>	33
3 Metodologia	35
3.1 Metodologia geral	35
3.2 Objectivos e âmbito da ACV	36
3.3 Inventário de ciclo de vida	37
3.4 Recolha de informação e dados	38
3.5 Construção dos ICV	40
3.5.1 Enquadramento das fases do ciclo de vida	40
3.5.2 Extração e processamento primário de recursos	42
3.5.3 Fabrico de componentes	43
3.5.4 Expedição de componentes	43
<i>Expedição de componentes em pesados de mercadorias</i>	44
<i>Expedição de componentes em pesados de passageiros</i>	44
3.5.5 Montagem final	45
<i>Montagem de pesados de mercadorias</i>	46
<i>Montagem de pesados de passageiros</i>	47
3.5.6 Expedição de veículos	48
<i>Importação de pesados de mercadorias</i>	48
<i>Importação de pesados de passageiros</i>	49
3.5.7 Operação de veículos pesados	50
<i>Operação de pesados de mercadorias</i>	51
<i>Operação em pesados de passageiros</i>	54
3.5.8 Fim de vida	56
3.6 Avaliação de impactes	58
3.6.1 Metodologia <i>EcoBlok</i>	58
3.6.2 Indicadores <i>EcoBlok</i>	59

<i>Consumo de água (WA)</i>	60
<i>Consumo de recursos (RE)</i>	61
<i>Uso do Solo (LU)</i>	62
<i>Emissão de gases com efeito de estufa (GHG)</i>	63
<i>Emissão de poluentes para água e solo (PWL) e poluentes atmosféricos (PA)</i>	63
<i>Emissão de dioxinas e furanos (DF)</i>	64
4 Resultados e discussão	67
4.1 Introdução	67
4.2 Transporte pesado de mercadorias.....	67
4.2.1 Indicadores agregados	67
4.2.2 Análise por indicador <i>EcoBlok</i>	72
<i>Consumo de água (WA)</i>	73
<i>Consumo de recursos (RE)</i>	75
<i>Uso dos solos (LU)</i>	76
<i>Emissão de gases com efeito de estufa (GHG)</i>	77
<i>Emissão de poluentes atmosféricos (PA)</i>	79
<i>Emissão de dioxinas e furanos (DF)</i>	80
<i>Emissão de poluentes para água e solo (PWL)</i>	81
4.2.3 Pressão total ao longo da vida útil	83
4.2.4 Pressão anual para o total da frota.....	88
4.2.5 Comparação da pressão ambiental entre 2012 e 2013.....	93
4.3 Transporte pesado de passageiros	95
4.3.1 Indicadores agregados	95
4.3.2 Análise por indicador <i>EcoBlok</i>	98
<i>Consumo de água (WA)</i>	99
<i>Consumo de recursos (RE)</i>	100
<i>Uso do solo (LU)</i>	101
<i>Emissão de gases com efeito de estufa (GHG)</i>	102
<i>Emissão de poluentes atmosféricos (PA)</i>	104
<i>Emissão de dioxinas e furanos (DF)</i>	105
<i>Emissão de poluentes para a água e solo (PWL)</i>	106
4.3.3 Pressão total ao longo da vida útil	107
4.3.4 Pressão anual para o total da frota.....	110
4.3.5 Comparação da pressão ambiental entre 2012 e 2013.....	114
4.4 Sensibilidade dos resultados	115
4.4.1 Transporte pesado de mercadorias	116
<i>Sensibilidade à variação do declive</i>	117
<i>Sensibilidade à variação da velocidade</i>	120
<i>Sensibilidade à variação da carga transportada</i>	123
4.4.2 Transporte pesado de passageiros	126
<i>Sensibilidade à variação do declive</i>	126
<i>Sensibilidade à variação da velocidade</i>	129

<i>Sensibilidade à variação da taxa de ocupação</i>	132
4.5 Situações de transporte de mercadorias típicas de Portugal.....	134
4.5.1 Mercadorias transportadas em cidade.....	134
4.5.2 Transporte de mercadorias a longa distância.....	135
4.6 Situações de transporte de passageiros típicas em Portugal	137
4.6.1 Passageiros transportados em cidade.....	137
4.6.2 Transporte de passageiros a longa distância	138
5 Conclusões	141
5.1 Síntese.....	141
5.2 Limitações.....	142
5.3 Desenvolvimentos futuros	142
Referências Bibliográficas	145
Anexo1 Fases do ciclo de vida	151
A1.1 Manufatura	151
A1.1.1 Extracção e processamento de metais	151
<i>Extracção e produção de ferro e aço</i>	151
<i>Extracção e produção de alumínio</i>	154
<i>Extracção e produção de cobre</i>	157
<i>Extracção e produção de zinco e chumbo</i>	159
A1.1.2 Produção e processamento de plásticos.....	162
<i>Refinação do petróleo</i>	163
<i>Produção de poliolefinas</i>	164
<i>Produção de polímeros clorados</i>	164
<i>Produção de poliuretano</i>	165
A1.1.3 Produção de pneus.....	166
<i>Extracção de borracha e produção de pneus</i>	166
A1.2 Manufatura	167
A1.3 Operação.....	173
A1.4 Fim de vida.....	175
A1.5 Combustível	177
Anexo 2 Pressão anual do transporte pesado	181
Anexo 3 Dados para a produção de inventários de ciclo de vida	187

Índice de figuras

Figura 1.1 Distribuição modal do transporte de mercadorias em Portugal (Fonte: APA, 2014a) .	2
Figura 1.2 Distribuição modal do transporte de passageiros em Portugal (Fonte: APA, 2014a) .	2
Figura 1.3 Evolução das emissões de GEE em Portugal e na UE (Fonte: APA, 2014b)	3
Figura 2.1 Distribuição modal do transporte pesado de mercadorias na UE, em toneladas-quilómetro (Fonte: adaptado de Eurostat, 2014)	7
Figura 2.2 Evolução da carga transportada por modo de transporte em Portugal (Fonte: adaptado de INE, 2014)	8
Figura 2.3 Evolução do número de veículos pesados de mercadorias em Portugal (Fonte: adaptado de INE, 2014)	8
Figura 2.4 Distribuição modal do transporte de passageiros na UE, por pkm (Fonte: adaptado de Eurostat, 2014)	19
Figura 2.5 Comparação da evolução do número de veículos pesados e ligeiros de passageiros em Portugal (Fonte: adaptado de INE, 2014)	20
Figura 2.6 Estágios do ciclo de vida de um produto (Fonte: Usepa, 2001 citado por Ferreira, 2004)	28
Figura 2.7 Etapas ACV (Fonte: ISO 14040:2006).....	30
Figura 3.1 Diagrama metodológico seguido na elaboração da dissertação	35
Figura 3.2 Diagrama geral relativo ao ciclo de vida de um veículo pesado rodoviário.....	37
Figura 3.3 Diagrama esquemático referente à extracção de recursos para produção de veículos pesados	42
Figura 3.4 Diagrama esquemático referente ao fabrico de componentes para montagem de veículos pesados	43
Figura 3.5 Diagrama esquemático referente ao transporte de componentes em veículos pesados	44
Figura 3.6 Diagrama esquemático referente à montagem final de veículos pesados	46
Figura 3.7 Diagrama esquemático referentes à expedição de veículos pesados importados ...	48
Figura 3.8 Diagrama de esquemático referente à fase de operação de um veículo pesado	50
Figura 3.9 Diagrama de esquemático referente à fase de fim de vida de um veículo pesado...	57
Figura 3.10 Indicadores de pressão ambiental <i>EcoBlok</i> (adaptado de Macedo, Sobral e Melo, 2005; Melo <i>et al.</i> , 2010).....	59
Figura 4.1 Consumo de água ao longo do ciclo de vida em pesados de mercadorias	74
Figura 4.2 Consumo de recursos ao longo do ciclo de vida em pesados de mercadorias	76
Figura 4.3 Uso dos solos ao longo do ciclo de vida em pesados de mercadorias	77
Figura 4.4 Emissões de gases com efeito de estufa ao longo do ciclo de vida em pesados de mercadorias.....	78
Figura 4.5 Emissões de poluentes atmosféricos ao longo do ciclo de vida em pesados de mercadorias.....	79
Figura 4.6 Emissões de dioxinas e furanos ao longo do ciclo de vida em pesados de mercadorias.....	80
Figura 4.7 Emissões para a água e solos ao longo do ciclo de vida em pesados de mercadorias	82
Figura 4.8 Consumo de água ao longo do ciclo de vida em pesados de passageiros.....	100
Figura 4.9 Consumo de recursos ao longo do ciclo de vida em pesados de passageiros	101
Figura 4.10 Uso dos solos ao longo do ciclo de vida em pesados de passageiros	102
Figura 4.11 Emissões de gases com efeito de estufa ao longo do ciclo de vida em pesados de passageiros	103
Figura 4.12 Emissões de poluentes atmosféricos ao longo do ciclo de vida em pesados de passageiros	104
Figura 4.13 Emissões de dioxinas e furanos ao longo do ciclo de vida em pesados de passageiros	105
Figura 4.14 Emissões para a água e o solo ao longo do ciclo de vida em pesados de passageiros	106
Figura 4.15 Emissões e consumos de combustível em função do declive em pesados de mercadorias.....	118
Figura 4.16 Pressões por indicador <i>EcoBlok</i> na operação de circulação a diferentes declives em pesados de mercadorias	119
Figura 4.17 Emissões e consumos de combustível em função da velocidade em pesados de mercadorias.....	120

Figura 4.18 Pressões por indicador <i>EcoBlok</i> na operação de circulação a diferentes velocidades em pesados de mercadorias	122
Figura 4.19 Emissões e consumos de combustível em função do factor de carga em pesados de mercadorias	123
Figura 4.20 Pressões por indicador <i>EcoBlok</i> ao longo do ciclo de vida com diferentes factores de carga em pesados de mercadorias	125
Figura 4.21 Emissões e consumos de combustível em função do declive em pesados de passageiros	127
Figura 4.22 Pressões por indicador <i>EcoBlok</i> na operação de circulação a diferentes declives em pesados de passageiros	128
Figura 4.23 Emissões e consumos de combustível em função da velocidade em pesados de passageiros	129
Figura 4.24 Pressões por indicador <i>EcoBlok</i> na operação de circulação a diferentes velocidades em pesados de passageiros	131
Figura 4.25 Emissões e consumos de combustível em função da taxa de ocupação em pesados de passageiros	132
Figura 4.26 Pressões por indicador <i>EcoBlok</i> ao longo do ciclo de vida com diferentes taxas de ocupação em pesados de passageiros	133
Figura A1.1 Diagrama esquemático do processo produtivo do ferro e aço (Fonte: adaptado de Classen <i>et al.</i> , 2009)	152
Figura A1.2 Diagrama esquemático do processo produtivo do alumínio primário e secundário (adaptado de Classen <i>et al.</i> , 2009)	155
Figura A1.3 Consumo de plástico no continente europeu em 2013 (Fonte: adaptado de PlasticsEurope, 2015)	163
Figura A1.4 Composição média de um pneu (Fonte: adaptado de Yokohama, 2014)	166
Figura A1.5 Destino das exportações de componentes fabricadas em Portugal no ano de 2014 (Fonte: adaptado de AFIA, 2015)	168
Figura A1.6 Evolução do número de veículos produzidos pelo complexo industrial Mitsubishi, no Tramagal (Fonte: adaptado de ACAP, 2014)	170
Figura A1.7 Fluxo de produção implementado na Mitsubishi Fuso Truck Europe, no Tramagal (Fonte: Ferreira, 2013)	171
Figura A1.8 Evolução do número de veículos produzidos pela CaetanoBus, S.A (Fonte: adaptado de ACAP, 2014)	172
Figura A1.9 Fluxo de produção implementado na CaetanoBus, S.A (Fonte: Guimarães, 2013)	173
Figura A1.10 Diagrama representativo da cadeia de fim de vida de um veículo (Fonte: Rosa, 2009)	176
Figura A1.11 Evolução do consumo de produtos petrolíferos entre 2004 e 2014 (Fonte: adaptado de BP, 2015)	178
Figura A1.12 Origem das importações nacionais de petróleo bruto em 2013 (Fonte: adaptado de DGEG, 2014)	179
Figura A1.13 Vendas de produtos de petróleo em Portugal em 2013 (Fonte: adaptado de DGEG, 2014)	179

Índice de tabelas

Tabela 2.1 Distribuição dos veículos pesados rodoviários de mercadorias utilizados, por classe de peso bruto em Portugal (Fonte: adaptado de INE, 2014)	9
Tabela 2.2 Resumo da revisão de literatura em pesados de mercadorias	13
Tabela 2.3 Resumo da revisão de literatura em pesados de passageiros	23
Tabela 2.4 Normas ISO relativas à metodologia ACV em vigor. (Fonte: adaptado de Matos, 2012)	29
Tabela 2.5 Elementos pertencente à AICV (Fonte: adaptado de ISO 14042:2000; ISO 14040:2006)	31
Tabela 3.1 Designação das fases mais significativas no ciclo de vida de um veículo pesado no contexto nacional	41
Tabela 3.2 Origem e modo de transporte das componentes importadas para montagem de pesados de mercadorias até 7,5 t de peso bruto (Fonte: adaptado de Ferreira, 2013a)	44
Tabela 3.3 Origem e modo de transporte das componentes importadas para montagem de pesados de passageiros (Fonte: adaptado de Ferreira, 2013b); Cunha, 2013)	45
Tabela 3.4 Evolução das pressões verificadas na fase de montagem final de camiões (Fonte: adaptado de ACEA, 2013; Volvo Environmental Group, 1996; Volvo Environmental Group 2000; Volvo Environmental Group 2002; Volvo Environmental Group 2005; Volvo Environmental Group, 2008)	47
Tabela 3.5 Evolução das pressões verificadas na fase de montagem final de autocarros (Fonte: adaptado de ACEA, 2013; Volvo Environmental Group, 1996; Volvo Environmental Group, 2000; Volvo Environmental Group, 2002; Volvo Environmental Group, 2005; Volvo Environmental Group, 2008)	48
Tabela 3.6 Percorso médio de expedição de camiões entre local de montagem final e Portugal (Fonte: Volvo Environmental Group, 2014 ; Martins, 2014).....	49
Tabela 3.7 Percorso médio de expedição de autocarros entre local de montagem final e Portugal (Fonte: Volvo Environmental Group, 2014)	50
Tabela 3.8 Caracterização dos parâmetros-chave assumidos para cálculos de pressões associadas ao transporte rodoviário de mercadorias em Portugal (Fonte: adaptado de INE, 2014; APA, 2014b); EEA, 2014).....	51
Tabela 3.9 Agregação do total de pesados de mercadorias por respectiva classe de peso bruto e norma de emissão (Fonte: adaptado de IMTT, 2014; INE 2014)	52
Tabela 3.10 Distribuição das mercadorias transportadas e distância percorrida pelas classes de pesados de mercadorias (Fonte: adaptado de INE, 2014)	53
Tabela 3.11 Distribuição das estradas de acordo com as suas características (Fonte: adaptado de ERF, 2011)	53
Tabela 3.12 Caracterização dos parâmetros-chave assumidos para cálculos de pressões associadas ao transporte rodoviário pesado de passageiros (Fonte: adaptado de INE, 2014; APA, 2014b); EEA, 2014).....	54
Tabela 3.13 Agregação do total de pesados de passageiros por respectiva classe de peso bruto e norma de emissão (Fonte: adaptado de IMTT, 2014; INE 2014)	55
Tabela 3.14 Distribuição dos passageiros transportados e distância percorrida pelas classes de autocarros (Fonte: adaptado de INE, 2014; EEA, 2014)	56
Tabela 3.15 Destinos dos constituintes dos veículos em fim de vida no ano de 2013 (Fonte: Valorcar, 2014)	57
Tabela 3.16 Factores de equivalência para a captação de água (Fonte: adaptado de Melo <i>et al</i> , 2010)	61
Tabela 3.17 Factores de equivalência para os recursos (Fonte: adaptado de Melo <i>et al</i> , 2010)	61
Tabela 3.18 Critérios de atribuição do factor de equivalência do uso do solo (Fonte: adaptado de Melo <i>et al</i> , 2010).....	63
Tabela 3.19 Potencial de aquecimento global dos principais GEE (Fonte: adaptado de IPCC, 2007)	63
Tabela 4.1 Pressão ambiental por tkm para cada classe de veículo rígido de mercadorias.....	68
Tabela 4.2 Pressão ambiental por tkm para cada classe de veículo articulado de mercadorias.....	71
Tabela 4.3 Pressão total ao longo da vida útil de cada classe de veículos rígidos	84
Tabela 4.4 Pressão total ao longo da vida útil de cada classe de veículos articulados	87
Tabela 4.5 Pressão total referente ao transporte de mercadorias em veículos pesados rígidos no ano de 2013.....	89

Tabela 4.6 Pressão total referente ao transporte de mercadorias veículos pesados articulados no ano de 2013.....	92
Tabela 4.7 Actividade da classe 34-40 t em 2012 e 2013 (Fonte: adaptado de IMTT, 2014; INE, 2013; INE, 2014)	93
Tabela 4.8 Agregação do total de pesados de mercadorias da classe 34-40 t em actividade nos anos de 2012 e 2013 (Fonte: adaptado de IMTT, 2014; INE, 2013; INE 2014)	94
Tabela 4.9 Comparação entre a pressão ambiental associada à classe 34-40 t nos anos de 2012 e 2013.....	94
Tabela 4.10 Pressão ambiental por pkm para cada classe de veículo de passageiros	96
Tabela 4.11 Pressão total ao longo da vida útil de cada classe de pesados de passageiros..	108
Tabela 4.12 Pressão total referente ao transporte de passageiros no ano de 2013.....	112
Tabela 4.13 Actividade da classe 15-18 t em 2012 e 2013 (Fonte: adaptado de IMTT, 2014; INE, 2013; INE, 2014)	114
Tabela 4.14 Agregação do total de pesados de mercadorias da classe 15-18 t em actividade nos anos de 2012 e 2013 (Fonte: adaptado de IMTT, 2014; INE, 2013; INE 2014)	114
Tabela 4.15 Comparação entre as pressões ambientais associadas à classe 15-18 t nos anos de 2012 e 2013.....	115
Tabela 4.16 Cenários de análise de sensibilidade testados para pesados de mercadorias	117
Tabela 4.17 Cenários de análise de sensibilidade testados para pesados de passageiros	126
Tabela 4.18 Perfil topográfico aproximado de Lisboa e Porto, apresentado por percentagem de frequência de declives (Fonte: adaptado de CMLisboa, 2010; Pinho, 2010)	134
Tabela 4.19 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na cidade de Lisboa em pesados de mercadorias	135
Tabela 4.20 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na cidade do Porto em pesados de mercadorias	135
Tabela 4.21 Perfil topográfico aproximado de auto-estradas, apresentado por percentagem de frequência de declives.....	136
Tabela 4.22 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na auto-estada A1 em pesados de mercadorias	136
Tabela 4.23 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na auto-estada A25 em pesados de mercadorias	137
Tabela 4.24 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na cidade de Lisboa em pesados de passageiros	137
Tabela 4.25 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na cidade do Porto em pesados de passageiros	138
Tabela 4.26 Perfil topográfico aproximado da auto-estrada A2 apresentado por percentagem de frequência de declives.....	139
Tabela 4.27 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na auto-estada A1 em pesados de passageiros	139
Tabela 4.28 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na auto-estada A2 em pesados de passageiros	139
Tabela 4.29 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na auto-estada A25 em pesados de passageiros	140
Tabela A1.1 Países com maiores reservas de minério de ferro provadas em 2014 (Fonte: adaptado de Statista, 2015i)	151
Tabela A1.2 Maiores produtores de ferro e aço em 2013 (Fonte: adaptado de Worldsteel Association, 2014)	152
Tabela A1.3 Países com maior número de reservas provadas e bauxite no ano de 2014 (Fonte: adaptado de Statista, 2015f)	154
Tabela A1.4 Países com maior produção de alumínio no ano de 2014 (Fonte: adaptado de Statista, 2015a)	155
Tabela A1.5 Países com maior número de reservas provadas e produção de cobre, no ano de 2014 (Fonte: adaptado de Statista, 2015b; Statista, 2015e)	157
Tabela A1.6 Reservas comprovadas de chumbo e zinco em 2014 (Fonte: Adaptado de Statista, 2015c; Statista, 2015d)	159
Tabela A1.7 Produção de chumbo e zinco em 2014 (adaptado de Statista, 2015g; Statista, 2015h)	160
Tabela A1.8 Veículos automóveis produzidos em Portugal, por fábrica, em 2014 (Fonte: adaptado de ACAP, 2014)	169

Tabela A1.9 Evolução das normas Euro implementadas na UE (Fonte: adaptado de: Brás, 2012; EEA, 2014)	175
Tabela A2.1 Pressão anual de cada veículo pertencente a cada classe de pesados rígidos de mercadorias.....	181
Tabela A2.2 Pressão anual de cada veículo pertencentes a cada classe de pesados articulados de mercadorias.....	183
Tabela A2.3 Pressão anual de cada veículo pertencente a cada classe de pesados de passageiros	184
Tabela A3.1 Conjunto de funções da base de dados Artemis/HBEFA utilizadas para modelar emissões de CO, NO _x , PM, HC e consumo de combustível	187
Tabela A3.2 Factores de emissão relativos a emissões de metais pesados	188
Tabela A3.3 Factores de emissão relativos a poluentes em pesados de mercadorias.....	189
Tabela A3.4 Factores de emissão relativos a poluentes em pesados de passageiros	189
Tabela A5.5 Factores de emissão relativos a poluentes em transportes pesados	190

1 Introdução

1.1 Enquadramento

O transporte é uma actividade que permite a conexão entre diferentes regiões e culturas, na medida em que promove a deslocação de pessoas ou bens. O termo transporte está fortemente associado a desenvolvimento, tendo ao longo dos anos forte influência na evolução de civilizações ao longo da história.

A criação de infra-estruturas de transporte tem-se revelado um factor essencial na prosperidade de determinada região, pois facilita o acesso a educação, emprego, saúde ou bens indispensáveis. Igualmente aliado à melhoria da mobilidade está uma positiva evolução económica. A sua importância reflecte-se também na promoção do turismo, aumento das actividades de importação e exportação ou criação de postos de trabalho (Duarte, 2012).

Tida como uma crescente preocupação devido ao agravamento que se tem verificado recentemente, a componente ambiental está igualmente relacionada com o sector do transporte pesado de mercadorias e passageiros (Duarte, 2012). A constante evolução tecnológica possibilita, hoje em dia, a produção de veículos cada vez menos poluentes e com menores consumos energéticos, promovendo uma diminuição do passivo ambiental associado ao referido sector de actividade. Nesse contexto de optimização dos transportes em termos ambientais, a componente política destaca-se como uma ferramenta de elevado potencial na concepção de soluções que promovam modos de transporte sustentáveis e adequados aos actuais padrões da sociedade. No entanto tem-se verificado incapacidade de utilização desta componente para as finalidades mencionadas.

Em suma, o sector dos transportes rodoviários encontra-se em constante evolução, reconhecendo-se uma efectiva contribuição para os actuais padrões de conectividade e desenvolvimento da sociedade actual. Os níveis de utilização de veículos rodoviários que se verificam hoje em dia promovem uma acentuada degradação ambiental em todas as fases dos seus ciclos de vida. Seguidamente realizar-se-á uma breve revisão da contribuição deste sector de actividade para os níveis de poluição e aquecimento global registados em Portugal.

O transporte rodoviário destaca-se como sendo um dos sectores que mais energia consome em Portugal. No ano de 2012 foi responsável por 93,2% de todo o transporte efectuado em Portugal (APA, 2014a).

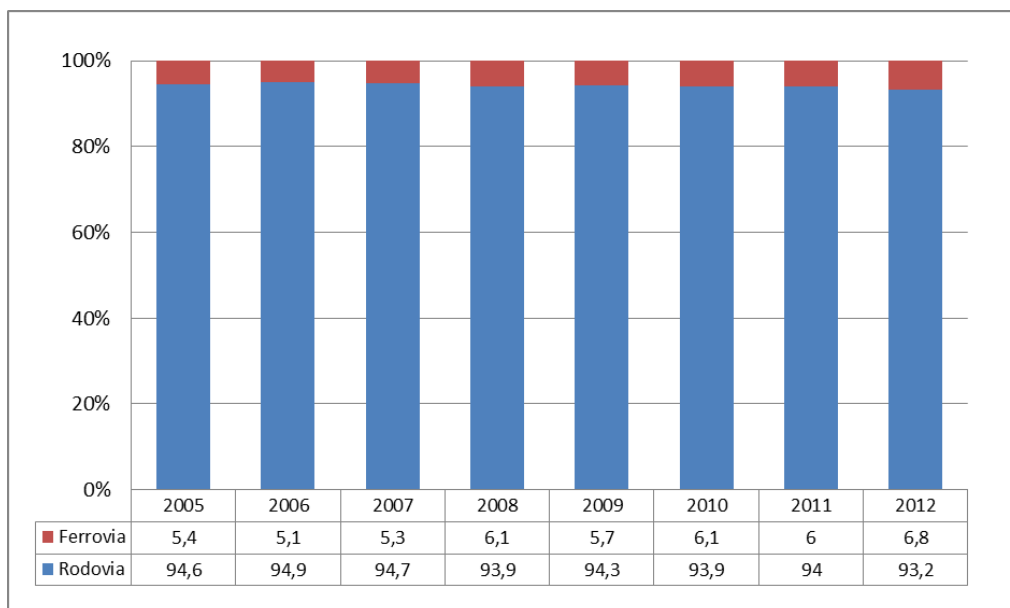


Figura 1.1 Distribuição modal do transporte de mercadorias em Portugal (Fonte: APA, 2014a)

Para o transporte de passageiros o automóvel ligeiro assume a hegemonia do transporte de pessoas atingindo, em 2012, 89,3% do total de movimentações registadas. Este valor é cerca de 6% superior à média da União Europeia (APA, 2014a).

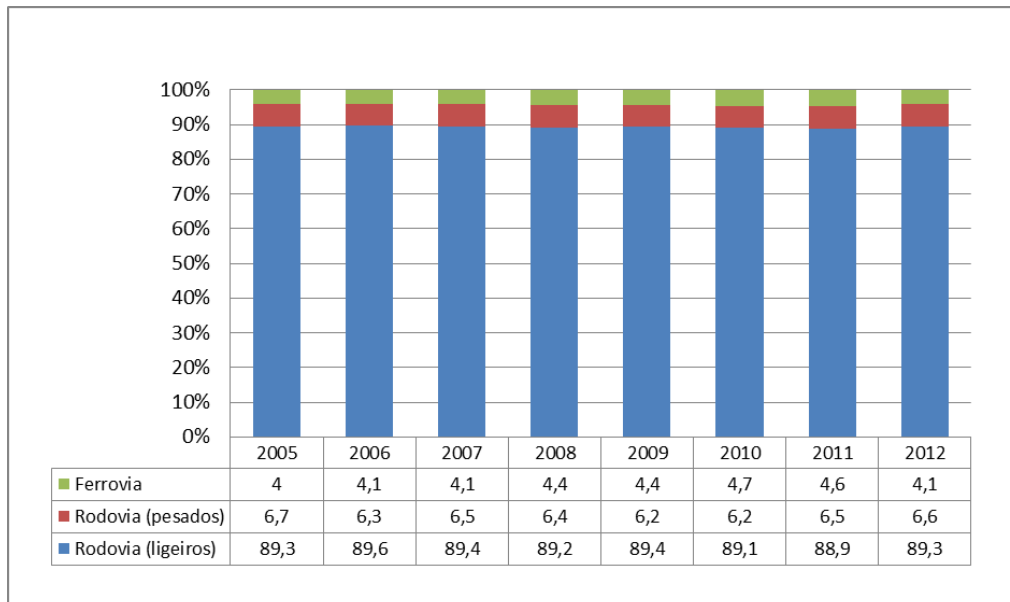


Figura 1.2 Distribuição modal do transporte de passageiros em Portugal (Fonte: APA, 2014a)

Directamente proporcional à elevada intensidade energética do sector dos transportes estão os elevados valores de gases com efeito de estufa (GEE) emitidos anualmente devido à operação dos veículos rodoviários. Houve um aumento do número de veículos e da sua utilização no início da década de 1990 que ditou um substancial aumento das emissões. Associado a este facto está a melhoria do rendimento salarial e forte investimento em infra-estruturas rodoviárias que ocorreram nessa década. Contudo, desde o ano de 2009 tem-se verificado um abrandamento das emissões, conforme demonstra a Figura 1.3. Em 2012 o sector dos transportes representava 24,7% do total de GEE emitidos a nível nacional. Saliente-se que a tendência de diminuição de emissões associadas ao tráfego rodoviário é uma realidade na União Europeia (UE) desde 2000 (APA, 2014a); APA., 2014b).

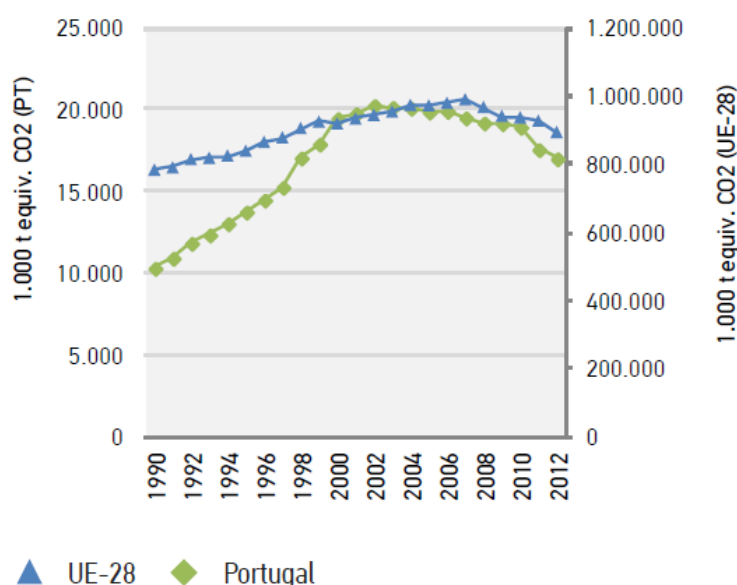


Figura 1.3 Evolução das emissões de GEE em Portugal e na UE (Fonte: APA, 2014b)

O dióxido de carbono (CO₂) que resulta principalmente da combustão de combustíveis fósseis é o GEE mais emitido para a atmosfera. A fase de uso dos transportes foi, por si só, responsável por mais de 15 Mt CO₂ equivalente no ano de 2012 (APA, 2014b). Embora este gás com efeito de estufa possua um potencial de aquecimento global inferior ao metano (CH₄) ou óxido nitroso (N₂O), o CO₂ tem um impacto bastante mais significativo devido à abundância das suas emissões.

Não só os GEE resultam do sector de actividade dos transportes. Emissões de poluentes como o monóxido de carbono (CO), óxidos de azoto (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x) ou compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM) são verificadas ao longo do ciclo de vida de veículo rodoviário seja este de passageiros ou mercadorias, ligeiro ou pesado. No entanto, a introdução de veículos com motores cada vez mais eficientes tem contribuído para o decréscimo de tais emissões (APA, 2014b).

Assume-se a necessidade de abordar o ciclo de vida e consumo de combustível, pois existem emissões que estão directamente relacionadas, como é caso do CO₂. No ano de 2013 o transporte rodoviário consumiu cerca de 3,9 Mt eq. de petróleo de gasóleo e 1,1 Mt eq. de gasolina, registando-se um ténue decréscimo face a 2012 (INE, 2014). De acordo com o Relatório de Estado do Ambiente de 2014 (APA, 2014a), o petróleo e seus derivados representam 43,5% do total de energia primária utilizada a nível nacional. Fica assim visível a preponderância deste sector no consumo energético português e nas importações, face à escassez de recursos energéticos naturais de origem fóssil. Torna-se então necessário importar fontes de energia primária como petróleo, carvão ou gás natural (Lopes, 2014). Em 2013, Portugal atingiu o menor valor de dependência energética exterior dos últimos 20 anos, fixado em 71,5%. Para tal contribuiu o declínio do consumo de carvão e gás natural para geração de electricidade (APA, 2014a).

Por norma a fase de operação de qualquer veículo rodoviário é a mais nociva para o ambiente (Sundvor, 2013). Todavia, limitar uma avaliação dos impactes ou pressões de um veículo apenas à sua operação é redutor face às reais implicações deste produto. Neste âmbito a análise ciclo de vida (ACV) revela-se uma metodologia que permite estudar todas as fases do ciclo de vida do produto alvo e alocar ao mesmo as pressões e os impactes e por si gerados. Sendo uma metodologia chave na abordagem da dissertação, as diversas etapas de uma ACV serão encontradas escritas no Anexo A1.

1.2 Objectivos

Com a presente dissertação pretende-se avaliar o desempenho ambiental dos transportes rodoviários pesados de mercadorias e passageiros em Portugal. Recorre-se à metodologia de ACV, formalizada pela ISO 14040 desenvolvida pela *International Organization for Standardization*, para a contabilização das pressões ambientais associadas a toda a cadeia de valor, desde a extracção dos recursos essenciais na produção dos veículos até ao fim de vida do mesmo, focando igualmente a operação, fabrico e manutenção dos veículos. Devido à importância que têm na movimentação rodoviária de mercadorias e passageiros, também as estradas e combustíveis serão incluídos no estudo.

A presente ACV é desenvolvida utilizando o método *Ecoblok* desenvolvido pelo Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente (DCEA) da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL).

1.3 Estrutura da dissertação

Capítulo 1. **Introdução:** Destina-se este capítulo ao enquadramento do tema estudado e exposição dos objectivos principais do trabalho.

Capítulo 2. **Revisão bibliográfica:** Capítulo reservado à elaboração de uma contextualização do sector e subsectores ao âmbito português. Foi efectuada uma revisão da literatura que permitiu a aquisição e aprofundamento de conhecimentos e ainda abordada a metodologia ACV.

Capítulo 3. **Metodologia:** Espaço reservado para a descrição da metodologia utilizada ao longo das diferentes etapas do ciclo de vida abordadas. Aqui serão divulgados os pressupostos utilizados e o modo de integração de dados. O objectivo deste capítulo é dar a conhecer o modo de processamento dos resultados obtidos.

Capítulo 4. **Resultados e discussão:** Capítulo no qual serão apresentados, discutidos e fundamentados os resultados obtidos para cada processo integrado na análise.

Capítulo 5. **Conclusões:** Neste capítulo encontram-se expostas as principais ilações da elaboração da dissertação, as quais incluem principais limitações identificadas e desenvolvimentos futuros.

2 Revisão de literatura

2.1 Transporte pesado de mercadorias

2.1.1 Enquadramento do sector

Os veículos pesados de mercadorias (*Heavy Duty Vehicles*) assumem um papel crucial no transporte de bens a nível europeu e, consequentemente, na economia da zona Euro. Conforme se observa na Figura 2.1, o transporte pesado rodoviário detém uma hegemonia sobre qualquer meio alternativo de carga. Alemanha e Polónia são os países com maior peso no transporte de mercadoria, sendo responsáveis por um terço do total de todas as movimentações de bens na Europa (INE, 2014).

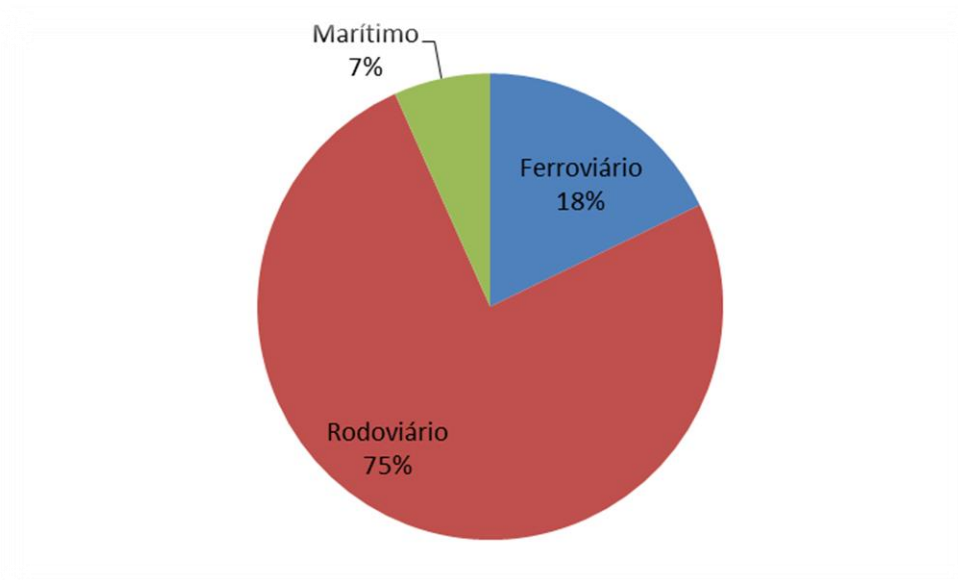


Figura 2.1 Distribuição modal do transporte pesado de mercadorias na UE, em toneladas-quilómetro (Fonte: adaptado de Eurostat, 2014)

Portugal apresenta semelhante tendência, tendo o transporte rodoviário transportado 147 Mt de mercadorias no ano de 2013. Contudo, a evolução verificada em anos recentes sugere um declínio anual constante de carga transportada. Em 2013 a queda foi de apenas 0,1% face ao ano 2012 no entanto, menos 33% em relação a 2012 (INE, 2014). A crise económica que atingiu Portugal assume-se como a principal causa na quebra registada na quantidade de mercadorias transportadas.

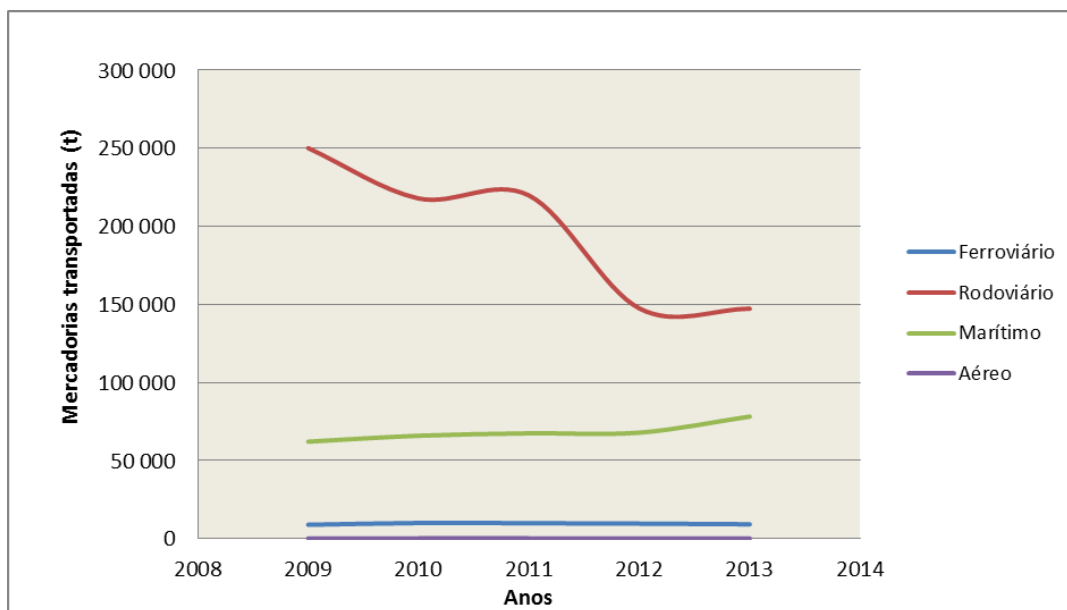


Figura 2.2 Evolução da carga transportada por modo de transporte em Portugal (Fonte: adaptado de INE, 2014)

A análise da Figura 2.2 permite concluir que o transporte marítimo tem vindo a conquistar protagonismo face ao rodoviário. De acordo com Horvath e Facanha (2006), o transporte ferroviário pode reduzir entre 50% e 94% as emissões de poluentes quando usado em detrimento do transporte pesado rodoviário. Uma das consequências da evolução evidenciada pela mesma figura é a redução anual do número de veículos pesados de mercadorias utilizados. Em relação ao ano de 2010, a frota responsável pelo transporte de mercadorias sofreu um corte superior a 20%, conforme demonstra a figura seguinte.

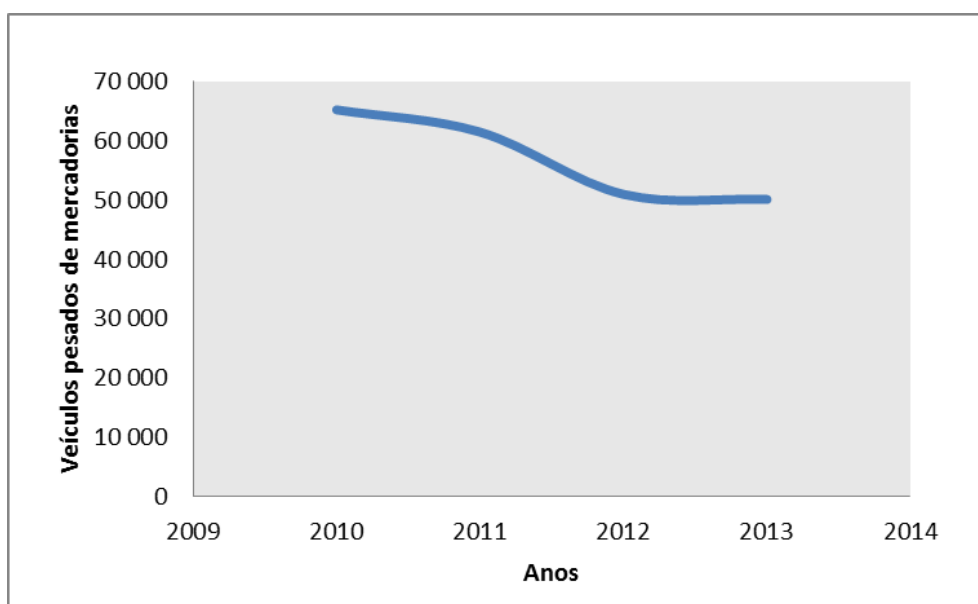


Figura 2.3 Evolução do número de veículos pesados de mercadorias em Portugal (Fonte: adaptado de INE, 2014)

Como referido anteriormente, o conteúdo movimentado pelos camiões é diversificado em termos de carga e tipologia. Existem camiões designados rígidos, ou seja, fabricados como uma unidade integrada e articulados, cuja principal finalidade é a de transportar a sua carga através de um compartimento rebocado pelo veículo. Dentro destas duas tipologias de veículos são consideradas várias classes de peso bruto, definido como sendo o somatório entre a tara e carga máxima que o veículo poderá transportar (Decreto-Lei nº203/2007). Segundo a legislação nacional um veículo é considerado pesado a partir de um peso igual ou superior a 3,5 t de peso bruto. A seguinte tabela apresenta o número de veículos rodoviários responsáveis pelas movimentações de bens efectuadas em 2013, por classes de peso bruto estabelecidas pelo Instituto Nacional de Estatísticas (INE).

Tabela 2.1 Distribuição dos veículos pesados rodoviários de mercadorias utilizados, por classe de peso bruto em Portugal (Fonte: adaptado de INE, 2014)

Classes de peso bruto	Veículos pesados de mercadorias rígidos	Classes de peso bruto	Veículos pesados de mercadorias articulados
<=10 t	8 160	3,5-26 t	36
>10-16 t	3 988	>26-29 t	41
>16-19 t	4 176	>29-38 t	1 878
>19-26 t	4 079	>38-40 t	13 065
>26 t	1 661	>40 t	6 753
Total	22 064	Total	21 772

Entre todos os veículos pertencentes às várias classes de camiões foram transportadas mais de 147 Mt e percorridos sensivelmente $3 \cdot 10^9$ km em 2013, entre movimentações nacionais e internacionais (INE, 2014). Conclui-se portanto que o transporte rodoviário continua a ter grande relevo na actividade económica nacional, através do volume de importações e exportações que dele dependem.

Torna-se pertinente reflectir sobre as razões que levam a uma tão acentuada dependência do transporte rodoviário para movimentar bens e quais as variáveis relevantes na escolha do modo de transporte. Segundo Ferreira (2013), os três factores a ponderar aquando da selecção do modo de transporte a utilizar são os custos associados, a distância e o tempo despendido no processo de transacção.

Os custos associados ao transporte estão directamente dependentes veículo utilizado, sendo que existem custos fixos e outros que dependem de várias circunstâncias. Por um lado existem custos associados à própria actividade de transporte, ou seja, de movimentar um veículo entre a origem e o destino. Os custos derivados do consumo de combustível ou circulação do veículo são pontuais enquanto custos associados a taxas de circulação variam consoante o modo de transporte utilizado. Para a modelação dos montantes gastos durante o movimento das mercadorias é importante ter em conta a intensidade do fluxo de transporte. O

conceito de intensidade média de fluxo depende da capacidade de carga do veículo, carga a ser transportada, tempo necessário para completar o transporte ou velocidade de circulação. Do ponto de vista financeiro é mais vantajoso para o fornecedor do serviço ter uma intensidade média de fluxo superior que permita a utilização do máximo da capacidade de carga do veículo e promova a movimentação de mercadorias em ambas as viagens realizadas. A tipologia das mercadorias transportadas tem igualmente relevância na escolha do modo de transporte a utilizar, assim como influência nos custos associados à actividade (Ferreira, 2013). Conclui-se que os custos inerentes ao transporte promovem uma optimização dos fluxos de produtos.

Os fluxos de mercadorias entre países que partilham fronteira terrestre são frequentemente executados por via rodoviária e ferroviária. Tal facto verifica-se entre Portugal e Espanha, principal destino das exportações nacionais. Esta cooperação beneficia da curta distância existentes entre os países e, consequentemente, do reduzido tempo despendido no trânsito de mercadorias.

Distância e tempo são também considerados factores cruciais na escolha do modo de transporte de mercadorias. Um elevado tempo de trânsito de determinada mercadoria traduz-se numa adição de custos para o responsável pela sua expedição. Tais custos incorrem da desvalorização da mercadoria, uma vez que os produtos mais recentes são sempre os mais valiosos nos mercados (Ferreira, 2013). Esta situação é uma realidade recorrente no transporte de alimentos nos quais os prazos de validade são, por norma, curtos. Perante estas condicionantes justifica-se a escolha de um modo de transporte que assegure uma redução significativa do tempo de trânsito, ainda que essa escolha implique um aumento das externalidades associadas à actividade de exportação.

Como a Figura 2.1 evidencia, a utilização de camiões é a solução mais frequente para transportar mercadorias na Europa. Considerando apenas o tráfego de mercadorias intracontinental parece evidente a preferência da rodovia em detrimento do transporte marítimo. Por outro lado, o desequilíbrio verificado entre o transporte rodoviário e ferroviário pode não ser tão claro. De acordo com Beuthe (2007) citado por Ferreira (2013), o transporte ferroviário na União Europeia é demasiado lento e oneroso. Para tal contribuem as estruturas ferroviárias antiquadas, pouco desenvolvidas e não homogéneas do continente europeu. Adicionalmente, a própria geografia do continente é adversa para a prática de tal actividade sobretudo, devido à existência de vários túneis que não permitem a sobreposição em altura de carga, tal como se pratica nos Estados Unidos (Ferreira, 2013). Perante esta situação conclui-se que o uso de camiões rígidos e articulados com elevados pesos bruto é a solução unimodal óptima para importar e exportar mercadorias. O grande problema está nas pressões e impactes ambientais que estes veículos geram, não exclusivos da fase de uso. Desta forma releva-se a importância de efectuar uma abordagem que permita analisar todas as fases do ciclo de vida e os efeitos nocivos associados a cada uma.

Urge desenvolver alternativas que permitam uma otimização simultânea do desempenho laboral e ambiental do transporte de bens interno e internacional. A intermodalidade define-se como a utilização de dois ou mais modos de transporte para executar o trânsito de mercadorias entre o local de origem e chegada (Comissão Europeia, 1997). Um modelo desenvolvido por Hansen *et al.* (2012) citado por Ferreira (2013) permite comparar a evolução dos custos do transporte intermodal e unimodal em função da distância percorrida até ao local de destino. Concluiu-se que o aumento da distância promove o custo do transporte unimodal, ou seja, a partir de uma determinada distância o transporte intermodal passa a ser a alternativa mais eficiente e económica para o consumidor e para o transportador.

Extrapolando este conceito para uma realidade como a europeia verifica-se que existe um longo caminho a percorrer na implementação do modelo de transporte intermodal de bens e mercadorias como alternativa efectiva eficaz ao transporte rodoviário. O transporte ferroviário carece de um fraco investimento e perda de prioridade para o modelo de transporte de passageiros, o transporte marítimo apesar do crescimento registado apresenta restrições burocráticas e necessidades de localizar infra-estruturas próximas dos portos. Introduce-se ainda o transporte fluvial como uma potencial solução para prática de intermodalidade e que se encontra difundida na Holanda e Bélgica mas que no resto da Europa não é tão praticada. Em suma, embora a intermodalidade se apresente como uma alternativa credível para combater a hegemonia do transporte rodoviário, há ainda bastante trabalho e investimento a realizar na Europa no sentido de harmonizar os fluxos de mercadorias entre vários veículos (Ferreira, 2013).

Conforme referido anteriormente, o elevado passivo ambiental gerado pela actividade de movimentação de mercadorias é considerado um aspecto central no reconhecimento da necessidade de mudança do modo como se gere este subsector específico. Todavia, o foco está apenas na fase de uso do veículo sendo que a extracção de recursos, manufactura do veículo ou fim de vida têm a si associada uma considerável percentagem da pegada ambiental total (Facanha e Horvath, 2006). Igualmente relevante é o ciclo de vida referente ao combustível utilizado pelo veículo e das infra-estruturas que promovem o trânsito do mesmo. Serão estes os estágios abordados na presente dissertação, sendo uma das vantagens de tal abordagem a hipótese de perceber qual a relevância de cada uma das fases no impacte global (Melo *et al.*, 2010). O Anexo A1 contém informação acerca dos vários processos que ocorrem ao longo da cadeia de valor de um veículo pesado.

O capítulo seguinte destina-se a introduzir e discutir as considerações e conclusões retiradas dos artigos e estudos usados como referência. A seguinte tabela resume a análise feita a artigos relativos ao tema estudado.

2.1.2 ACV de veículos pesados de mercadorias

Existem, hoje em dia, vários estudos focados na análise do desempenho ambiental de veículos pesados rodoviários. No entanto, grande parte dos mesmos restringe-se à fase de operação do veículo. Ainda que seja esta a fase com maior relevância no passivo ambiental total, a desvalorização das restantes fases na avaliação não permite averiguar as reais pressões e impactes inerentes à sua actividade e do sector em questão. A seguinte tabela contém um breve resumo dos estudos ACV focados no transporte pesado de mercadorias que serviram de base para aquisição de conhecimento científico. Posteriormente serão abordados os referidos estudos de maneira mais detalhada.

2. Revisão de literatura

Tabela 2.2 Resumo da revisão de literatura em pesados de mercadorias

Estudo	Âmbito/Objectivo	Fases ACV incluídas	Modo de transporte/Tecnologia	Unidade Funcional	Emissões quantificadas	Indicadores estabelecidos	Base de Dados	Principais conclusões
Facanha e Horvath, (2006)	Avaliação do desempenho ambiental de três veículos pesados especializados no transporte de mercadorias: camião, comboio e avião.	CVV; CVC; CVI	VPM; FP; Ar	tkm	CO ₂ ; NO _x ; CO; PM ₁₀	-	EIOLCA	Transporte rodoviário pode apresentar emissões até 94% superior ao ferroviário. Transporte aéreo é o menos eficiente e o ferroviário o mais eficiente. Incremento substancial de emissões quando abrangida todo o ciclo de vida.
Facanha e Horvath, (2007)	Comparação dos desempenhos ambientais de três modos de transporte de bens e mercadorias. Averiguação da importância de inclusão de todo o ciclo de vida numa ACV.	CVV; CVC; CVI	VPM; FP; Ar	tmilha	CO ₂ ; NO _x ; PM ₁₀ ; CO; SO ₂	-	EIOLCA	Transporte ferroviário tem menor passivo ambiental por tmilha e avião é o menos o que mais pressões gera.
Gaines et al., (1998)	Determinação dos benefícios ambientais inerentes a modificações efectuadas ao nível estrutural de um veículo rodoviário pesado. Determinação das diferenças de desempenho entre veículo pesado <i>diesel</i> e a gás natural.	CVV; CVC;	A; D	Btu/mi; g/mi	COV; CO; NO _x ; PM ₁₀ ; CH ₄ ; N ₂ O; SO _x ; CO ₂	Energia Total, Uso de Petróleo, PM ₁₀ , Emissões de NO _x , Gases com Efeito de Estufa, Emissões de SO _x ;	GREET 1.0; GREET 3.3; EPA Mobile 5a; EPA Part5 model;	As alterações estruturais efectuadas nos veículos não se traduziram em menor consumo de combustível ou emissões de poluentes. A utilização de camiões a gás natural revela melhorias ao nível do consumo de petróleo ou emissões de SO _x .
Motzl, (2009)	Avaliação do desempenho ambiental do transporte de bens na Áustria.	CVV; CVC	VPM; FP; Nav	km; tkm	CO ₂ ; NO _x ; PM; COV;	Potencial de aquecimento global, Depleção de recursos abióticos, Oxidação fotoquímica, Potencial de Acidificação, Potencial de Nitrificação, Conteúdo de energia primária	HBEFA V2.1 (2004); <i>Ecoinvent</i> V.2.0	Poucas melhorias nas emissões de CO ₂ e consumo de combustíveis em normas Euro mais recentes. Principais melhorias estão nas emissões de CO, NO _x , hidrocarbonetos e CH ₄ .
Fries e Hellweg, (2014)	Comparação, através da metodologia ACV, do desempenho de três modos de transporte de mercadorias por via terrestre.	CVV; CVC; CVI	VPM; FP	kg	CO ₂ ; PM; NO _x ; SO ₂ ; Pb; CH ₄ ; N ₂ O	Saúde humana, Ecossistemas, Necessidades não cumulativas de energia não renovável,	HBEFA V2.1 (2004); <i>Ecoinvent</i> V.2.2	Transporte ferroviário para mercadorias é a solução que menos pressões gera sobre o ambiente. Eficiência do transporte intermodal (camião+comboio) depende da distância a percorrer, embora tenha menos passivo ambiental que o transporte rodoviário.

2. Revisão de literatura

Estudo	Âmbito/Objectivo	Fases ACV incluídas	Modo de transporte/Tecnologia	Unidade Funcional	Emissões quantificadas	Indicadores estabelecidos	Base de Dados	Principais conclusões
Gerilla et al., (2005)	Avaliação do desempenho ambiental inerente ao processo de expedição de veículos entre a Europa e a Ásia.	Op	VPM; Nav	vkm	CO; CO ₂ ; NO _x ; SO ₂	Potencial de aquecimento global, Acidificação, Nitrificação, Toxicidade humana	-	Ao longo do processo de expedição do produto, é o transporte rodoviário por camião o mais penalizador em termos ambientais.
Kasai, (1999)	Elaboração de uma revisão referente ao potencial de aplicação da metodologia ACV ao sector rodoviário	CVV	VPM;VL	L/kg	CO ₂ ; NO _x ; CO	Poupança de combustível	-	A opção por metais mais leves como o alumínio poderá gerar importantes reduções ao nível do consumo de combustível ou emissões de gases e poluentes.
Spielmann e Scholz, (2005)	Comparação, por via da metodologia ACV, do desempenho ambiental de veículos rodoviários, ferroviários e fluviais pesados especializados no transporte de mercadorias.	CVV; CVC; CVI	VPM; Nav; FP	tkm	CO ₂ ; HCNM; NO _x ; PM _{2,5} ; PM ₁₀ ; Benzeno; Z _n ; C _d	-	<i>Ecoinvent</i> ; COPERT III;	A avaliação geral dos três modos de transporte de mercadorias indica o veículo pesado rodoviário como o mais penalizador para o ambiente.
Nordhall, (2007)	Averiguação do âmbito e nível de eficácia de aplicação da metodologia ACV aos principais produtores de veículos rodoviários pesados.	-	DaimlerChrysler, DAF, Volvo, Scania	-	-	Definição de estratégia, R&D e design, Manufactura e Procurement, Marketing		A aplicação da metodologia ACV encontra-se em diferentes estádios de desenvolvimento, nos diferentes produtores avaliados. Quanto mais ampla é a aplicação da ACV, maior é o número de soluções desenvolvidas para melhoria do produto.

Ma-Manufatura

M-Manutenção

Op-Operação

FV-Fim de vida

CVV-Ciclo de vida total do veículo sem combustível

CVC-Ciclo de vida combustível

CVI-Ciclo de vida infra-estruturas

A-Diesel Pré Euro V

B-Diesel Euro V

C-Híbrido diesel-eléctrico

D-Gás natural

E-Hidrogénio de fontes fósseis

F-Hidrogénio de fontes renováveis

G-Biodiesel

H-Hidrogénio de fonte indefinida

I-Eléctrico (baterias de lítio)

pkm-Passageiro quilómetro percorrido

vkm-Veículo quilómetro percorrido

€/km-Euro por quilómetro percorrido

TVU-Tempo de vida útil

€/milha-Euro por milha percorrida

CO₂ eq/milha- CO₂ equivalente por milha percorrida

\$/milha-Dólar por milha percorrida

QUALY-Número de anos de vida perdidos, por pessoa, devido à qualidade do ar

L/km- Litro de combustível por quilómetro percorrido

Btu/mi-British Thermal Unit de energia por milha percorrida

g/mi-Gramma emissão por milha percorrida

kg emissão-Quilograma de poluente emitido

tkm- Tonelada quilómetro percorrido

tmilha- Tonelada milha percorrida

VPM- Veículo Rodoviário Pesado

VL-Rodoviário ligeiro

FP-Ferroviário pesado

Y-Ferroviário ligeiro

Ar- Aéreo

Nav-Navio

Facanha e Horvath (2006) utilizaram a metodologia ACV de modo a comparar o desempenho ambiental de três veículos especializados no transporte de mercadorias: caminhão, comboio e avião. Incluindo no âmbito do seu estudo o ciclo de vida das infra-estruturas essenciais para cada um dos modos de transporte e do combustível, para além do próprio veículo, os autores avaliaram as pressões associadas a cada modo contabilizadas em termos de emissões gasosas (CO, NO_x, PM₁₀ e CO₂). De entre várias importantes conclusões destaca-se o facto de o transporte rodoviário emitir entre 50%-94% mais que o transporte ferroviário, dependendo do poluente. A abrangência do trabalho realizado por Facanha e Horvath (2006) permitiu averiguar que para além da fase de operação do veículo existem emissões provenientes das restantes fases do ciclo de vida que agravam substancialmente a pegada ambiental associada à actividade de transporte de mercadorias de todos os modos de transporte estudados. De uma forma genérica, o transporte aéreo destacou-se como sendo o menos eficiente e o comboio como o mais eficiente por cada tonelada-quilómetro (tkm) percorrida.

Um ano mais tarde os mesmos Facanha e Horvath (2007) publicaram um novo estudo de âmbito semelhante ao anterior. Focando-se nas emissões de CO, NO_x, PM₁₀ e CO₂ e SO₂, foram avaliados os desempenhos ambientais dos modos de transporte de mercadorias rodoviário, ferroviário e aéreo. A abordagem desenvolvida permitiu, não só, comparar o desempenho ambiental entre modos de transporte, como também ponderar o peso de cada fase do ciclo de vida nas emissões dos gases averiguados. Esta análise possibilitou concluir que a fase de operação dos veículos é responsável por grande parte das emissões de CO₂. As restantes fases contabilizam entre 10% e 30% das emissões da espécie referida, dependendo do modo de transporte. Igual tendência se verificou para as emissões de poluentes atmosféricos, onde a operação representa no máximo 98% do total de conteúdo emitido. Através desta análise Facanha e Horvath (2007) reforçam uma das premissas pelas quais se defende a aplicação da metodologia ACV, segundo a qual apenas uma avaliação a todo o ciclo de vida pode contabilizar os reais impactes e pressões associados a um produto ou sector. Foi destacado o transporte ferroviário como o que menos emissões gera e o aéreo como o que pior desempenho tem.

Uma análise de ciclo de vida conduzida por Gaines *et al.*, (1998) pretendia determinar quais os benefícios ambientais inerentes a modificações feitas ao nível estrutural de um veículo rodoviário pesado com peso bruto superior a 36 t. Através da contabilização de emissões atmosféricas de poluentes, GEE ou necessidades energéticas foram comparados o modelo *standard* e um modelo com inclusão de materiais mais leves (alumínio e magnésio) que proporcionaram uma diminuição do peso bruto do veículo. Tais alterações revelaram-se pouco eficientes na medida em que a redução no consumo de combustível por kg de peso reduzido não compensou o aumento de necessidades energéticas verificadas na manufactura do veículo. A utilização de gás natural em detrimento de gasóleo foi igualmente testada pelos autores, concluindo-se que tal opção não traria melhorias evidentes ao nível de emissões de

GEE ou de consumo energético. As principais virtudes do uso de camiões movidos a gás natural são, segundo Gaines *et al.*, (1998) a redução do consumo de petróleo e das emissões de SO_x, fortemente associadas a este. Por fim, os autores afirmam que melhorias ao nível da eficiência de motores a gás natural, tracção e aerodinâmica dos veículos seriam as mais eficientes na tentativa de mitigar as pressões ambientais associadas ao ciclo de vida de um camião.

Uma avaliação ao desempenho ambiental do transporte de bens na Áustria foi levada a cabo por Motzl (2009). O estudo comparava os três modos mais utilizados no país: rodoviário, marítimo e ferroviário. Assentes nas bases de dados *HBEFA* V2.1, 2004 e *Ecoinvent* V.2.0, 2004 as principais conclusões acerca da fase de operação e de todo o ciclo de vida de vida apontam para o facto de as mais recentes normas Euro, alterações tecnológicas nos veículos impostas pela UE com o objectivo de mitigar as emissões de poluentes, não resultam em melhorias significativas ao nível das emissões de CO₂ ou consumo de combustível. As principais mudanças estão nas reduções significativas de partículas ou NO_x.

Fries e Hellweg (2014) desenvolveram uma análise ciclo de vida destinada a comparar o desempenho ambiental de três soluções distintas de trânsito de mercadorias por via terrestre. Contabilizando os impactes sob a forma de emissões de GEE, poluentes atmosféricos e danos gerados por acidentes rodoviários a metodologia base permitia realizar um exercício de *benchmarking* no qual o desempenho do transporte rodoviário, ferroviário e intermodal seriam avaliados em treze percursos específicos. O modo intermodal de trânsito de mercadorias envolvia o uso equitativo do camião e comboio ao longo de cada percurso elaborado. A abordagem ACV permitiu aos autores perceber que optar pelo transporte ferroviário em detrimento do rodoviário resulta em melhorias significativas do desempenho ambiental, ainda que se trate de um modelo de camião com tecnologia Euro V, equipado com sistema de Redução Catalítica Seletiva (SCR). A intermodalidade revela-se uma opção cuja eficiência está dependente da distância a percorrer entre origem e destino, embora seja preferível ao transporte rodoviário na grande maioria dos cenários testados. Para além da fase de operação, Fries e Hellweg (2014) incluem igualmente a produção de combustível, manufactura e manutenção dos veículos e infra-estruturas nos ICV produzidos.

Focando apenas a fase de operação dos veículos, Gerilla *et al.*, (2005) avaliaram as emissões de CO, CO₂, NO_x, SO₂, hidrocarbonetos e partículas que resultam do processo de transporte de automóveis ligeiros desde o local de produção (Suécia) até ao destino (Japão). Este representa uma cadeia de transporte intermodal na qual a mercadoria é transportada por pesados rodoviários entre o local de manufactura e o porto de embarque na Suécia e do porto até ao destino, situado em Tóquio. A viagem intermédia é assegurada por navio, uma distância de cerca de 28 000 km. Os resultados obtidos indicam o veículo rodoviário como o que mais emissões gera, especialmente nas emissões de CO₂ e NO_x. Fazendo uso da mais-valia da metodologia ACV, o grupo de trabalho desenvolveu um cenário alternativo denominado de

“*Ecoplan*”. Uma redução da velocidade do navio que transporta a mercadoria em três nós e da utilização de camiões movidos por gás natural foram as alterações introduzidas pelo “*Ecoplan*” e verificaram-se melhorias do desempenho ambiental. Segundo Gerilla *et al.*, (2005), embora a redução da velocidade do navio promova mitigação de emissões, o destaque está nas vantagens que a escolha de veículos a gás natural proporcionam. Potencial redução de um quinto das emissões de CO₂ e NO_x e poupanças significativas nos custos associados à recuperação de danos causados pelas referidas emissões. Esta última conclusão provém de uma abordagem alternativa na qual as emissões são contabilizadas por unidade monetária despendida na recuperação dos danos que destas resultam.

Kasai (1999) realizou uma revisão sobre o potencial de aplicação da metodologia ACV ao sector automóvel focando a sua análise nos benefícios resultantes da transição da quantificação de *inputs* e *outputs* de um inventário de ciclo de vida (ICV) para uma avaliação dos impactes gerados (AICV). Os valores quantificados em ICV permitiram ao autor concluir que a grande maioria do consumo energético e emissões estão associados à fase de operação dos veículos, razão pela qual sugere que os produtores deveriam concentrar-se na alteração dos materiais constituintes da matriz estrutural dos veículos comerciais. A preferência por alumínio em vez de ferro ou aço é vinculada como uma alternativa com potencial para melhoria da eficiência do transporte de mercadorias. Kasai (1999) releva ainda a importância da realização de AICV na efectivação de medidas a partir de ACV, uma vez que uma AICV possibilita a exposição da informação através de indicadores de fácil percepção e que promovem o processo de tomada de decisão por parte dos responsáveis.

Spielmann e Scholz (2005) formalizam através do artigo “*Life Cycle Inventories of Transport Services*” uma ACV comparativa entre o transporte fluvial, rodoviário e ferroviários destinados ao trânsito de mercadorias entre origem e destino. Para os transportes rodoviários e ferroviários são avaliados modelos com diferentes pesos brutos representativos das realidades de produção suíça e europeia. Para o transporte fluvial apenas um modelo é inserido no estudo. Incluindo todo o ciclo de vida, não só dos veículos, mas também das infra-estruturas usadas para circulação, manufactura e manutenção contabilizaram-se as emissões de GEE, poluentes atmosféricos, incluindo metais pesados para o solo e ar. Tendo em conta as variáveis introduzidas no estudo, Spielmann e Scholz (2005) optam por analisar os resultados obtidos de forma segmentada. Tendo em conta apenas o desempenho dos três modos de transporte destaca-se o rodoviário como o mais penalizador para o ambiente em todas as espécies inventariadas com excepção das partículas. Embora seja a fase de operação a que maior pressão induz, a não inclusão do ciclo de vida das infra-estruturas resulta numa análise incompleta, como comprova o peso desta nas emissões de COVNM. A comparação do desempenho ambiental entre os veículos que operam na Suíça e no resto da Europa revelou que a frota suíça apresenta uma eficiência consideravelmente superior à verificada na média europeia por tonelada-quilómetro percorrido (tkm). Os autores relacionam tais resultados com

os factores de carga médios utilizados num e noutro caso, ou seja, com o facto de na Suíça existir melhor gestão das mercadorias movimentadas.

Nordhall (2007) desenvolveu uma abordagem original em relação à aplicação da metodologia ACV em veículos pesados rodoviários para transporte de mercadorias. A finalidade do seu trabalho foi a de averiguar o âmbito e nível eficácia da aplicação da referida metodologia por parte de alguns dos grandes produtores de camiões. O autor estabeleceu quatro níveis de aplicabilidade de ACV (definição de estratégia, *research and development* (R&D), *procurement*, produção e *marketing*) atribuídos a cada uma das marcas analisadas: DaimlerChrysler, DAF, Volvo e Scania. Concluiu-se que até ao ano do estudo a metodologia de ACV era aplicada para definição da estratégia empresarial, pesquisa, desenvolvimento e concepção de componentes, bem como para efeitos de divulgação de produtos. Verificou-se no entanto, que nenhuma das entidades avaliadas empregava o conceito ao controlo do desempenho ambiental dos seus fornecedores ou monitorização de emissões *downstream* associadas à etapa de manufactura dos veículos. As entidades efectuavam exclusivamente as monitorizações das pressões e impactes ambientais provocados pelas suas unidades de produção. A análise global permitiu concluir que, do universo das empresas avaliadas, algumas já tinham o conceito e aplicação da metodologia ACV bem integrados na sua actividade enquanto outras estavam numa fase inicial do processo ou, simplesmente não o utilizavam.

2.2 Transporte pesado de passageiros

2.2.1 Enquadramento do sector

O sector dos transportes tem, hoje em dia, grande relevância na economia dos países, na medida em que presta serviços essenciais ao desenvolvimento e bem-estar das sociedades. Para além da sua expressão no produto interno bruto europeu e nacional, o sector representa igualmente uma fatia importante do orçamento familiar através da aquisição de veículos e combustíveis, ou de assinaturas mensais de utilização da rede de transportes públicos. No ano de 2013 estavam registadas em Portugal 489 empresas dedicadas ao transporte rodoviário de passageiros em veículos pesados, que asseguravam mais de 24 000 postos de trabalho e um volume de negócios próximo de 1 M€ (INE, 2014).

Contrariamente ao que foi constatado para os pesados de mercadorias, o transporte colectivo de passageiros através de veículos pesados não se revela como o modo dominante no respectivo subsector. O transporte ligeiro de passageiro é o modo de transporte preferencial dos cidadãos europeus para realizarem as suas deslocações diárias, conforme se constata na Figura 2.4 abaixo apresentada.

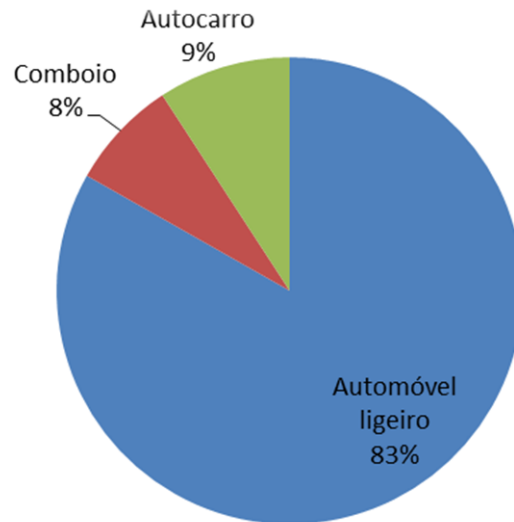


Figura 2.4 Distribuição modal do transporte de passageiros na UE, por pkm (Fonte: adaptado de Eurostat, 2014)

Portugal reflecte a tendência verificada na União Europeia sendo o autocarro o meio de transporte preferencial de apenas 6,9% da população, estando assim abaixo da média da UE (Eurostat, 2014). Nos últimos anos o número de passageiros que utilizam o autocarro como meio para alcançar o seu destino tem vindo a decrescer a elevado ritmo registando-se em 2013 menos 23% dos passageiros face a 2011 (INE, 2014). Este decréscimo não pode ser dissociado da evolução que se tem verificado no parque automóvel ligeiro, que se manteve estável em anos recentes e cujo número de viaturas ultrapassa os $4 \cdot 10^6$ unidades. A Figura 2.5 representa a curva de evolução do transporte pesado rodoviário de passageiros *versus* transporte ligeiro. A referida figura revela um acentuado decréscimo no número de veículos ligeiros entre 2011 e 2012, podendo este evento estar relacionado com programas de incentivo ao abate estabelecidos pelo Governo. Por outro lado, também os pesados de passageiros registam um declínio num período temporal mais alargado. Na origem desta queda no parque automóvel de pesados está o gradual decréscimo de passageiros a utilizar o transporte colectivo rodoviário (INE, 2014).

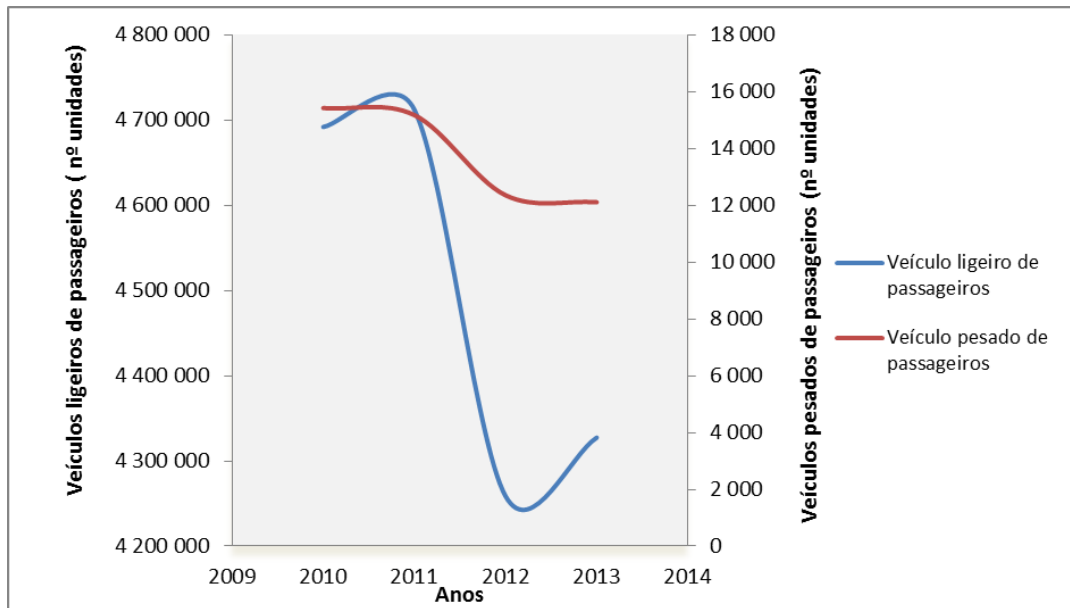


Figura 2.5 Comparação da evolução do número de veículos pesados e ligeiros de passageiros em Portugal (Fonte: adaptado de INE, 2014)

Em Portugal o transporte rodoviário colectivo classifica-se nas seguintes categorias (INE, 2014):

Serviço de transporte regular - Caracteriza-se como o serviço que estabelece a ligação entre diferentes locais dentro da mesma região metropolitana ou, entre diferentes áreas urbanas. Este serviço designa-se como regular pois tem itinerários, horários e tarifas pré-estabelecidas (DRTT, 2015). O transporte regular inclui as carreiras urbanas/suburbanas, interurbanas e serviço expresso, este último cobre distância entre distritos;

Serviço de transporte regular especializado - São os serviços regulares que asseguram o transporte de determinadas categorias de passageiros e excluem outras. São exemplos desta categoria o transporte de trabalhadores, estudantes ou circuitos turísticos (DRTT, 2015);

Serviço de transporte ocasional - Destinado a assegurar o transporte, previamente acordado, de um grupo definido de passageiros com destino comum.

As carreiras urbanas e interurbanas são os serviços que mais passageiros transportam. No ano de 2013 registaram-se, tendo apenas em conta serviços urbanos e interurbanos, mais de $500 \cdot 10^6$ passageiros que utilizaram o transporte rodoviário para se movimentarem. Lisboa e a região do Norte dominam o fluxo de passageiros enquanto o Alentejo é a região portuguesa com menor afluência. Importa também destacar o transporte internacional que constitui uma alternativa válida ao transporte aéreo e ferroviário, proporcionando a deslocação para países europeus. Destacam-se Espanha devido à sua proximidade, França e Suíça, por serem locais

com forte presença de comunidades portuguesas. São estes os locais de origem e destino para os quais se registou maior fluxo de passageiros (INE, 2014).

Após uma breve revisão relativa ao estado da arte no sector do transporte de passageiros, na qual se constata o uso excessivo do veículo particular, adequa-se discutir as *driving-forces* por detrás da referida tendência. Em Portugal a década de 1990 assume-se como o ponto de viragem, o momento a partir do qual o transporte colectivo perde influência em favor do transporte individual. Para tal contribuíram a construção de infra-estruturas rodoviárias e a positiva evolução económica que reforçou o poder de compra das famílias e, consequentemente, impulsionou o consumo privado. A melhoria nas infra-estruturas rodoviárias permitiu maior eficiência na mobilidade e este facto proporcionou contrapartidas benéficas à economia nacional, uma vez que a mobilidade é um factor fulcral no crescimento económico e geração de emprego nas regiões (Duarte, 2012). Hoje em dia uma eficaz rede de infra-estruturas de transporte revela-se uma obrigatoriedade em qualquer cidade e região com significativo grau de desenvolvimento.

A hegemonia do automóvel ligeiro pode ser explicada pela constante disponibilidade, comodidade e conforto oferecida ao utilizador. Todavia, tem-se verificado uma crescente expressão das consequências implícitas no excessivo uso do mesmo. As pressões ambientais derivadas das emissões para ar, solo ou água, o ruído, aumento da intensidade energética, sobre utilização das infra-estruturas, ou o maior congestionamento e sinistralidade rodoviária são provas da real necessidade de uma mudança do paradigma actual.

A União Europeia assume a aposta no transporte colectivo como tema central da sua política para o futuro próximo. A evolução positiva de tal política é tida como sendo importante no cumprimento de vários objectivos de natureza ambiental como a redução drástica das emissões de GEE no ano de 2050, face ao valores de 1990 ou a redução da dependência dos transportes dos produtos petrolíferos (Duarte, 2012). No contexto nacional, a necessidade de aposta no transporte público é também assumida como comprova a Reforma Fiscal Verde elaborada em 2014. Do documento que formaliza a referida reforma constam medidas de incentivo à utilização do transporte público materializadas sob a forma de descontos e vales de utilização no sistema de transportes públicos (Vasconcelos *et al.*, 2014).

Embora as medidas propostas sejam, do ponto de vista teórico, favoráveis para a promoção do transporte colectivo existem factores que são cruciais para o sucesso das referidas políticas. A uma rede de transportes públicos eficiente exige-se, em simultâneo, desempenho ambiental, energético e urbano positivos, ou seja, além dos benefícios da redução de pressões ambientais tem igualmente de assegurar níveis de conforto, flexibilidade e comodidade, para além de proporcionarem uma rápida deslocação aos seus utilizadores. Não é aceitável promover o uso do transporte colectivo sem que este ofereça as garantias mínimas de qualidade do serviço. A grande questão está relacionada com os recursos económicos disponíveis para proporcionar uma rede de transporte com tais características. E quais as

consequências económicas, sociais e ambientais da ausência de um sistema de transportes eficiente (Duarte, 2012).

O desenvolvimento de uma política de transportes colectivos focada nos utilizadores, onde as infra-estruturas existentes privilegiem a complementaridade entre modos de transporte e na qual se pratiquem tarifários uniformes e multimodais é fundamental para promover o transporte colectivo em detrimento do individual (GEOTA, 2014). Está em causa uma remodelação dos princípios nos quais assentam as políticas de transportes e mobilidade tanto a nível europeu como nacional.

Importa abordar os factores que pesam na decisão de um utente em relação ao meio de transporte que deve utilizar para realizar as suas deslocações diárias. A escolha de um transporte em prejuízo dos restantes prende-se, essencialmente, com a distância ao destino, o tempo que o utilizador pode disponibilizar, custo do transporte, qualidade da viagem e a segurança oferecida durante a mesma. A especificidade da oferta tem impacte directo na procura devido à sua influência sobre variáveis referidas. A gestão da oferta engloba gerência de infra-estruturas e do material circulante, ou seja, os veículos. De modo a oferecer ao utilizador condições que motivem a sua preferência é imperativo uma gestão eficiente, na qual se inclui uma permanente avaliação e manutenção.

Importa salientar que, tal como o transporte individual, o transporte colectivo é responsável por consideráveis pressões sobre o ambiente ao longo de todo o ciclo de vida. No entanto a grande virtude deste tipo de transporte é perceptível através de uma abordagem das referidas pressões normalizadas segundo a unidade funcional passageiro-quilómetro (pkm). A mesma distribui o serviço de transporte pelos passageiros que dele usufruem. Desta forma é possível concluir que um autocarro que transporte 50 passageiros evita uma potencial utilização de 50 automóveis ligeiros, situação que originaria emissões deveras superiores de gases e poluente para o ar, água e solo.

2.2.2 ACV de veículos pesados de passageiros

O presente capítulo destina-se a realizar uma revisão à bibliografia estudada acerca da realização de análise de ciclo de vida a veículos de passageiros. A Tabela 2.3 apresenta um resumo dos artigos utilizados como referência para o desenvolvimento da avaliação do desempenho ambiental ao transporte pesado de passageiros.

Tabela 2.3 Resumo da revisão de literatura em pesados de passageiros

Estudo	Âmbito/Objectivo	Fases ACV incluídas	Modo de transporte/Tecnologias	Unidade Funcional	Emissões quantificadas	Indicadores estabelecidos	Base de Dados	Principais conclusões
Chester e Horvath (2009)	Utilizando a metodologia ACV é efectuada uma análise ao desempenho ambiental dos quatro meios de transporte mais comuns na deslocação de passageiros: autocarro, avião, comboio e automóvel ligeiro.	CVV; CVC; CVI	V;W;X;Y;Z	pkm	CO ₂ ; CH ₄ ; N ₂ O; NO _x ; CO; SO ₂	Emissões de Gases com Efeito de Estufa, Emissões de Poluentes Atmosféricos, Consumo Energético	EPA Mobile 6.2; EIOlCA; EDMS 5.2.0; GREET	Inclusão de todas as etapas do ciclo de vida do veículo e do combustível/fonte de energia revela um agravamento das emissões de GEE até um máximo de 155% e de 800% no caso dos poluentes, quando comparadas apenas com a fase de operação de cada veículo.
Chester (2008); Chester et al., (2010)	Comparação do desempenho de veículos de passageiros ao longo de todo o seu ciclo de vida, bem como o ciclo de vida das infra-estruturas e combustíveis, por via de uma ACV híbrida em três grandes cidades americanas.	CVV; CVC; CVI	V;W;X;Y;Z	pkm; vkm; TVU	CO ₂ ; CH ₄ ; N ₂ O; CO; SO ₂ ; NO _x ; COV; PM	Emissões de Gases com Efeito de Estufa, Emissões de Poluentes Atmosféricos; Consumo Energético	EPA Mobile 6.2; SimaPro; PaLaTe;	Análise de todo o ciclo de vida de um veículo promove uma significativa amplificação dos impactes ambientais quando comparado apenas com a fase de uso.
Ally e Pryor (2007)	Avaliação da pegada ecológica de veículos rodoviários de passageiros com diferentes fontes de energia. Estudo feito com recurso à metodologia ACV.	M; Op; FV; CVC	A; D; E; F	vkm	CO ₂ ; CH ₄ ; SO ₂ ; HC; NO _x ; P;N	Potencial de Aquecimento Global, Potencial de ozono fotoquímico, Potencial de Acidificação, Potencial de Eutrofização, Requisitos de Energia Primária	SWIS; GaBi 4	Os veículos movidos a gás natural emitem maior quantidade de GEE. Veículos equipados com células de hidrogénio têm maior impacto em termos de emissões de poluentes fotoquímicos e têm maior necessidade energética. Veículos <i>diesel</i> têm a si associados maiores emissões de poluentes para ar, água e solo.
Chester e Horvath (2007)	Análise relativa ao desempenho ambiental de todo o ciclo de vida da rede de veículos especializados no transporte de passageiros nos EUA.	CVV; CVC; CVI	V;W;X;Y;Z	pkm; vkm; TVU	CO ₂ ; CH ₄ ; N ₂ O; SO ₂ ; CO; NO _x ; COV; PM10; P _b	Emissões de Gases com Efeito de Estufa, Emissões de Poluentes Atmosféricos	EPA Mobile 6.2; SimaPro; PaLaTe;	A abrangência da avaliação a todo o ciclo de vida do veículo, combustível e infra-estruturas revela impactes ambientais muitos superiores aos observados na fase de operação <i>per se</i> .

2. Revisão de literatura

Estudo	Âmbito/Objectivo	Fases ACV incluídas	Modo de transporte/Tecnologias	Unidade Funcional	Emissões quantificadas	Indicadores estabelecidos	Base de Dados	Principais conclusões
Sundvor (2013)	Comparação do desempenho ambiental de três modelos de veículos ligeiros e pesados de passageiros com recurso à metodologia ACV.	CVV; CVC	A; D	pkm; vkm	CO ₂ ; SO ₂ ; NO _x ; PM ₁₀ ; PM _{2,5} ; CO; COVNM; PAH; metais pesados	Potencial de Aquecimento Global, Toxicidade humana, Eutrofização marinha, Formação fotoquímica, Acidificação terrestre	Ecoinvent V2.2	A normalização dos resultados pela unidade funcional pkm permite atribuir pior desempenho ambiental aos veículos ligeiros. Através da unidade funcional vkm aponta-se o autocarro <i>diesel</i> como o que mais impactes negativos gera.
Hellgren (2005)	Estudo de viabilidade económica e ambiental de autocarros equipados com diferentes tecnologias, através de uma ACV híbrida.	CVV; CVC	A; C; H; I	€/km	-	Custo do ciclo de vida	THEPS	A determinação da tecnologia mais custo-eficiente depende de diversas variáveis, entre as quais se destacam os preços dos combustíveis, componentes do veículo ou tempo de vida útil.
Chester et al., (2013)	Avaliação dos benefícios da criação de duas rotas exclusivas para transporte público rodoviário e ferroviário, através da metodologia ACV.	CVV; CVC; CVI	-	pkm	CO ₂ ; CH ₄ ; N ₂ O; NO _x ; SO _x ; CO; PM ₁₀ ; PM _{2,5} ; COV	Formação de smog fotoquímico, Impacte na saúde e respiração humana, Emissões de Gases com Efeito de Estufa, Energia	REET; SimaPro; PaLaTe	Embora associadas a impactes significativos da sua construção, as rotas revelam potencial de redução de emissões e consumo de energia através da preferência do transporte público em detrimento do individual.
Cohen et al., (2003)	Comparação do desempenho ambiental e benefícios na saúde pública de veículos com diferentes tecnologias.	Ma; Op; CVC	A; B; D	\$/milha; QUALY	CO ₂ ; PM; NO _x ; SO ₂	Impactes na Saúde Pública, Emissões <i>Upstream</i> , Emissões de operação	REET	Autocarros movidos a gás natural são a melhor solução do ponto de vista social e ambiental. Autocarro <i>diesel</i> com filtro de partículas é a solução mais custo-eficiente.
McKenzie e Durango-Cohen (2012)	Comparação do desempenho ambiental e custos associados ao ciclo de vida de autocarros com diferentes tecnologias.	CVV; CVC; CVI	A; C; D; E; F	€/milha; CO ₂ eq/milha	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Potencial de aquecimento global	-	Autocarros <i>diesel</i> têm maiores custo e emissões de GEE na fase de operação. Combustíveis alternativos têm custos e emissões menores na fase de operação, mas superiores no ciclo de vida.
Simon et al., (2010)	Comparação do desempenho ambiental de autocarros com diferentes tecnologias.	Op; CVC	A, B, C, D, E, F, G	vkm	HC; CO, NO _x , PM, CO ₂ , CH ₄ , COVNM, Metais Pesados	Potencial de aquecimento global, Potencial de toxicidade humana, Potencial de ozono fotoquímico	Artemis Project; CMLCA2001	Tecnologia <i>diesel</i> Euro V é a mais viável. Utilização de tecnologias alternativas está dependente da eficiência de produção dos respectivos combustíveis.

Ma-Manufatura

M-Manutenção

Op-Operação

FV-Fim de vida

CVV-Ciclo de vida total do veículo sem combustível

CVC-Ciclo de vida combustível

CVI-Ciclo de vida infra-estruturas

A-Diesel Pré Euro V

B-Diesel Euro V

C-Híbrido diesel-eléctrico

D-Gás natural

E-Hidrogénio de fontes fósseis

F-Hidrogénio de fontes renováveis

G-Biodiesel

H-Hidrogénio de fonte indefinida

I-Eléctrico (baterias de lítio)

pkm-Passageiro quilómetro percorrido

vkm-Veículo quilómetro percorrido

€/km-Euro por quilómetro percorrido

TVU-Tempo de vida útil

€/milha-Euro por milha percorrida

CO₂ eq/milha- CO₂ equivalente por milha percorrida

\$/milha-Dólar por milha percorrida

QUALY-Número de anos de vida perdidos, por pessoa, devido à qualidade do ar

V-Rodoviário pesado

W-Rodoviário ligeiro

X-Ferroviário pesado

Y-Ferroviário ligeiro

Z-Aéreo

2. Revisão de literatura

Utilizando a metodologia ACV, Chester e Horvath (2009) efectuaram uma análise comparativa do desempenho ambiental dos quatro meios de transporte mais comuns na deslocação de passageiros: autocarro, avião, comboio e automóvel ligeiro. Para além do objectivo de estabelecer uma hierarquia de desempenho ambiental entre os modos de transporte estudados, os autores procuraram enaltecer a importância de abranger todas as fases do ciclo de vida de cada transporte, visto que a fase de operação, por si só, representa no máximo 79% do total de pressões ao longo do seu ciclo de vida de cada veículo. Utilizando a unidade funcional pkm foram inventariados os ciclos de vida dos veículos, respectivos combustíveis e infra-estruturas e contabilizadas as pressões sob a forma de emissões de poluentes atmosféricos, GEE e consumo energético. As conclusões apresentadas indicam os veículos pesados de passageiros com reduzido índice de ocupação e o automóvel ligeiro como os veículos com maior passivo ambiental.

Chester (2008) realizou através de uma ACV-Híbrida uma comparação do desempenho de veículos de passageiros ao longo de todo o seu ciclo de vida, bem como o ciclo de vida das infra-estruturas e combustíveis. Abordando os modos de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo foram seleccionados veículos que representassem diferentes categorias dentro de cada modo. Focando-se nas emissões de poluentes (CO, SO₂, NO_x, COV e PM) e de GEE (CO₂, CH₄ e N₂O), o autor inventariou as emissões provenientes do transporte de passageiros nas áreas metropolitanas de São Francisco, Chicago e Nova Iorque, três das cidades com maior número de habitantes nos EUA. Para além de detectar um significativo agravamento das emissões de todos os veículos analisados derivado da inclusão de todo o ciclo de vida o autor averiguou ainda os custos monetários associados à utilização de cada veículo, variando os mesmos de acordo com circunstâncias específicas do modo de transporte usado e consoante a unidade funcional escolhida. O transporte rodoviário é referido como fonte de 90% de todas as emissões e consumo energético associadas ao sector do transporte normalizado por passageiro-quilómetro ou veículo-quilómetro (vkm). Num estudo posteriormente elaborado inserido no mesmo âmbito, Chester *et al.*, (2010) alertam para os benefícios que uma mudança de hábitos de deslocação por parte da população, privilegiando o transporte colectivo em detrimento do público teria na mitigação das pressões ambientais provenientes do referido sector.

Um estudo produzido por Ally e Pryor (2007) no âmbito do *Sustainable Transport Energy Programme* (STEP), programa de transportes sustentáveis elaborado no oeste australiano, visava comparar o desempenho de autocarros com diferentes fontes de energia. Assentando a sua análise na unidade funcional vkm, os resultados obtidos permitem retirar importantes conclusões acerca dos impactos associados ao ciclo de vida de cada um dos veículos e combustíveis. Autocarros movidos a gás natural emitem maior quantidade de GEE e autocarros equipados com células de hidrogénio destacam-se pelos impactos ao nível de emissões de poluentes fotoquímicos e necessidades energéticas, este último fruto da baixa eficiência característica do hidrogénio quando aplicado a veículos. Os veículos *diesel* incluídos

2. Revisão de literatura

no âmbito do estudo apresentaram o pior desempenho em termos de emissões de poluente para ar, água e solo. Para além dos resultados gerais observados, Ally e Pryor (2007) avaliaram as emissões de GEE associadas a cada fase do ciclo de vida para cada um dos combustíveis estudados.

Chester e Horvath (2007) conduziram uma análise relativa ao desempenho ambiental de toda a rede de veículos especializados no transporte de passageiros nos EUA. Comparando diferentes categorias de automóveis ligeiros, autocarros, comboios pesados e ligeiros e até o avião os autores alargaram a sua análise a todo o ciclo de vida das infra-estruturas e combustíveis de cada modo de transporte, além do próprio veículo. Quantificando os impactos através de emissões de GEE e poluentes atmosféricos e normalizando o inventário através de unidades funcionais como vkm ou pkm, os resultados obtidos revelam uma magnificação dos impactos quando comparados com aqueles que se retiram de uma análise limitada apenas à fase de uso dos veículos.

Aplicando a metodologia ACV, Sundvor (2013) desenvolveu inventários de ciclo de vida de três automóveis ligeiros de passageiros pertencentes a diferentes classes de peso bruto. Foram igualmente inventariados três veículos rodoviários pesados de passageiros, cujas diferenças residiam no tipo e combustível utilizado. Quantificando os impactos através de emissões de GEE e poluentes atmosféricos, o autor determinou os impactos inerentes a cada um das fases do ciclo de vida, para cada um dos veículos analisados. Sundvor (2013) apresenta os resultados normalizados segundo duas unidades funcionais. Para a unidade funcional vkm atribuem-se os piores desempenhos ambientais aos autocarros a *diesel* devido, sobretudo, à sua fase de operação. Todavia, a normalização dos dados perante a unidade funcional pkm indicia os três tipos de transportes individuais estudados como os mais nocivos. O autor demonstra ainda que um maior factor de ocupação por veículo é directamente proporcional a uma menor pegada ecológica associada ao mesmo.

Hellgren (2005) elaborou um estudo comparativo sobre a viabilidade económica da aplicação de fontes de energia alternativas aos transportes rodoviários. Baseada numa abordagem ACV económica, que permite avaliar os custos de determinado produto durante o seu ciclo de vida, foi analisada a introdução de veículos ligeiros, autocarros eléctricos urbanos e de longa distância, híbridos e movidos através de células de combustível. Fundamentando a sua análise de um ponto de vista estritamente económico, Hellgren considera que a opção mais custo-eficiente depende da conjugação de vários factores, entre os quais estão os preços dos combustíveis, da electricidade ou das componentes que integram o veículo. O tempo de vida útil ou factor de utilização são também aspectos tidos em conta na determinação da solução de transporte mais válida do ponto de vista monetário.

Chester *et al.*, (2013) avaliaram, baseando-se na metodologia ACV, os benefícios que advêm da implementação das *Gold light rail transit* (LRT) e *Orange bus rapid transit* (BRT), duas rotas especializadas no transporte de passageiros implementadas numa cidade dos EUA.

2. Revisão de literatura

Abrangendo os ciclos de vida das infra-estruturas e da fonte de energia primária, para além dos próprios veículos, são quantificados os impactes ambientais sob a forma de emissões de GEE, poluentes atmosféricos e consumo energético, sendo os mesmos normalizados através da unidade funcional pkm. Os autores afirmam, com base nos resultados produzidos, que embora a concepção das referidas rotas tenha a si associados significativos impactes sobre o ambiente e sociedade, a sua utilização em detrimento do veículo individual promoverá importantes reduções de emissões. É reforçada a importância deste projecto como base numa política de transportes focada na redução da utilização do automóvel ligeiro, em favor do transporte colectivo.

Cohen *et al.*, (2003) procederam à concepção de um estudo focado no potencial de mitigação das emissões de GEE, benefícios na saúde pública e redução dos custos relativos aos recursos adquiridos através da introdução de autocarros equipados com tecnologias alternativas. Incluindo na sua análise as fases de extracção de matérias-primas, produção do combustível e operação dos veículos estimam-se as alterações que a introdução de autocarros *diesel* com filtro de partículas e autocarros a gás natural trariam, face aos autocarros *diesel* utilizados no ano do estudo. Os impactes de cada tipo de veículo na saúde pública são quantificados pela mortalidade e morbilidade associada à exposição a emissões de partículas e ozono (O₃). O potencial de aquecimento global é medido por meio de emissões de GEE. Para cada tecnologia averiguada é promovida uma análise que permite confrontar o potencial de redução de pressões e externalidades negativas sobre o ambiente e saúde pública com os custos implicados na adopção de determinada tecnologia. Cohen *et al.*, (2003) afirmam que a utilização de autocarros movidos a gás natural é a melhor solução do ponto de vista social, ou seja, aquela que permite alcançar reduções mais significativas de poluição e aquecimento global. No entanto, esta revela-se uma solução menos custo-eficiente comparativamente com o autocarro *diesel* com filtro de partículas.

McKenzie e Durango-Cohen (2012) utilizaram a metodologia ACV *input-output* híbrida centrada em emissões de GEE e custos de modo a comparar o desempenho dos seguintes tipos de veículos pesados de passageiros: autocarro Euro V a *diesel*, autocarro híbrido *diesel*-elétrico, autocarro a gás natural e duas vertentes de autocarros equipados com célula de hidrogénio (produzido a partir de fontes fósseis e renováveis). A abordagem efectuada pelos autores permite a obtenção de diversas conclusões, consoante o factor de normalização e fase de ciclo de vida analisada. A fase de operação indica o autocarro *diesel* como aquele que apresenta maiores custos, embora tenha emissões de GEE inferiores a um autocarro equipado com células de hidrogénio. Todavia, a inclusão das restantes fases do ciclo de vida permite concluir que tanto os veículos híbridos como movidos a hidrogénio fóssil têm a si associados elevados impactes. Os veículos a *diesel* são a alternativa menos onerosa ao longo de todo o ciclo de vida.

2. Revisão de literatura

Simon *et al.*, (2010) estudaram o desempenho do transporte público rodoviário, comparando os seguintes tipos de transporte: autocarros a *diesel* (Pré-Euro, Euro I, Euro II, Euro III, Euro IV e Euro V), autocarro a *biodiesel*, gás natural, híbrido diesel-eléctrico, movidos a hidrogénio. São quantificadas as emissões de gases com efeito de estufa, poluentes atmosféricos ou metais pesados provenientes das fases de operação dos veículos e produção dos combustíveis considerados. Os resultados apresentados demonstram que os veículos movidos a hidrogénio proveniente de fontes fósseis e os veículos *diesel*, sobretudo Pré-Euro, são os principais responsáveis pelos impactes quantificados. Veículos movidos a *biodiesel*, gás natural e híbridos revelam-se as alternativas mais sustentáveis, apresentando melhor desempenho ao longo das fases consideradas no estudo. Simon *et al.*, (2010) afirmam que a melhoria da eficiência dos processos típicos da produção de hidrogénio para veículos o tornaria o combustível ideal para a frota de transporte rodoviário pesado de passageiros.

2.3 Análise de ciclo de vida

2.3.1 Enquadramento

O termo análise de ciclo de vida (ACV) foi utilizado pela primeira vez nos Estados Unidos no ano de 1990. Uma ACV é uma compilação de *inputs*, *outputs* e prováveis impactes ambientais de um produto ou serviço ao longo do seu ciclo de vida (Ferreira, 2004). Esta metodologia torna necessária a aquisição de informação e dados referentes às várias etapas da vida do produto, desde a aquisição das matérias-primas até à sua eliminação, passando por todo o processo de concepção do mesmo. Esta abordagem é denominada *de cradle-to-grave*.

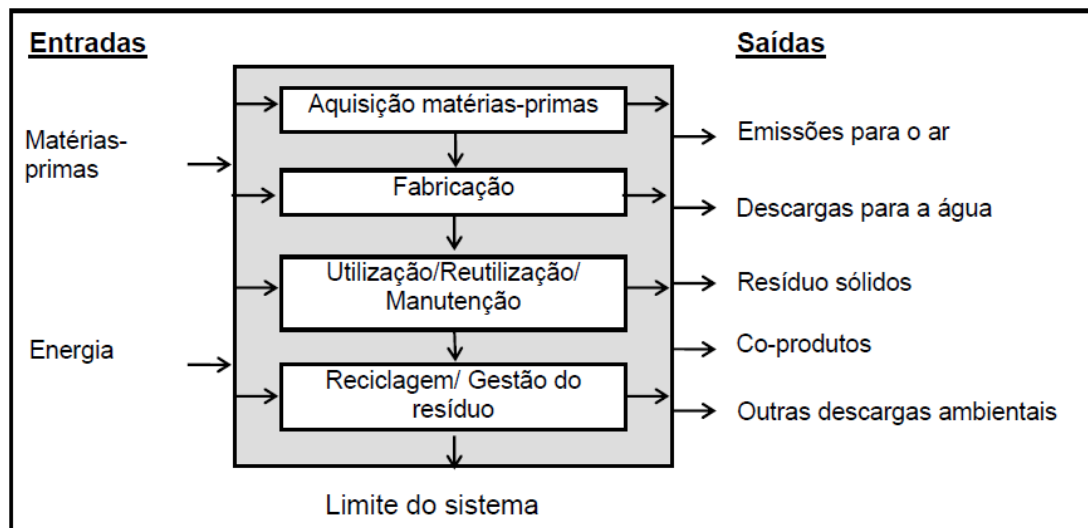


Figura 2.6 Estágios do ciclo de vida de um produto (Fonte: Usepa, 2001 citado por Ferreira, 2004)

No ano de 1992 a Organização Internacional para a Normalização (ISO) iniciou um comité técnico com a finalidade de proporcionar uma normalização das abordagens de gestão ambiental, incluindo a ACV (Tibor e Feldman, citado por Ferreira, 2004). A primeira aplicação

2. Revisão de literatura

desse comité surgiu em 1997 através da ISO 14040:1997. Desde então tem-se registado novas normas e actualizações periódicas das mesmas. A seguinte tabela apresenta as normas ISO desenvolvidas para a metodologia ACV.

Tabela 2.4 Normas ISO relativas à metodologia ACV em vigor. (Fonte: adaptado de Matos, 2012)

Designação	Conteúdo
ISO 14040:2006, <i>Environmental management - Life cycle assessment</i>	<i>Principles and Framework</i>
ISO 14044:2006, <i>Environmental management – Life cycle assessment</i>	<i>Requirements and guidelines</i>
ISO/TR 14047, <i>Environmental management – Life cycle impact assessment</i>	<i>Examples of application</i>
ISO/TS 14048, <i>Environmental management – Life cycle assessment</i>	<i>Data documentation format</i>
ISO/TR 14049, <i>Environmental management – Life cycle assessment</i>	<i>Examples of how to apply ISO to goal and scope definition and inventory analysis</i>
ISO/TS 14071:2014, <i>Environmental management – Life cycle assessment</i>	<i>Critical review processes and reviewer competencies: additional requirements and guidelines to ISO 14044:2006</i>
ISO/DTS 14072, <i>Environmental management – Life cycle assessment</i>	<i>Requirements and guidelines for organizational life cycle assessment</i>

2.3.2 Metodologia Análise de Ciclo de Vida

Aquando da implementação de uma metodologia ACV as seguintes etapas são essenciais: definição de objectivos e âmbito, análise de inventário de ciclo de vida (ICV), análise do impacte do ciclo de vida (AICV) e interpretação dos resultados.

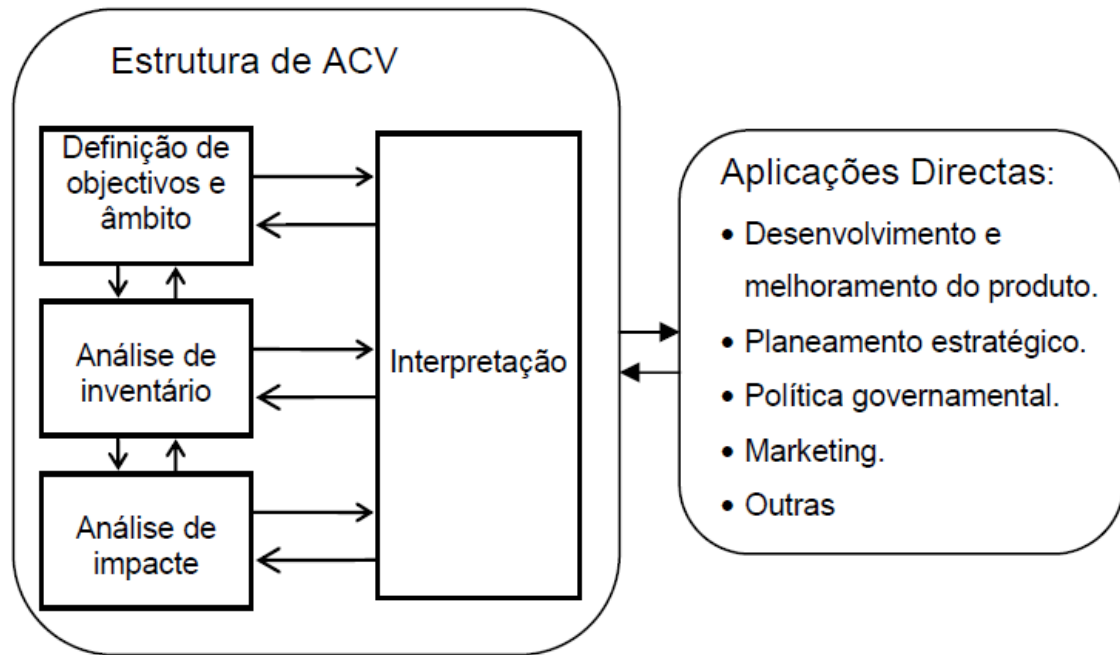


Figura 2.7 Etapas ACV (Fonte: ISO 14040:2006)

Definição do objectivo e âmbito – Fase destinada à definição e descrição do produto e processos em questão (Ferreira, 2004). As funções do sistema, os seus limites, a unidade funcional ou as categorias de impacto e metodologias de análise são alguns dos parâmetros a integrar nesta etapa. A unidade funcional é uma medida do desempenho do sistema de produto, constituindo a referência para a qual os *inputs* e *outputs* são avaliados. O conceito de unidade funcional torna-se fundamental para a comparação de resultados ACV de diferentes produtos, pois permite estabelecer uma base comum de comparação (Ferreira, 2004). A especificação do sistema global e a sua divisão em diversos subsistemas interligados por meio de fluxos de materiais ou de energia é importante na descrição e avaliação do desempenho de um sistema no âmbito de uma ACV. Saliente-se que o objectivo e âmbito do estudo podem registar modificações no caso de se obter informação útil ao longo do processo e a mesma permita uma melhoria em relação aos dados iniciais (Lewis *et al*, citado por Matos, 2012).

Análise do Inventário Ciclo de Vida (ICV) - Etapa iterativa da ACV na qual se procede ao inventário dos *inputs* sobretudo, de energia ou matérias-primas e *outputs* como emissões de poluentes para ar, água e solo que resultam dos processos relativos ao sistema ou sistemas de produto estabelecidos.

A segunda fase da metodologia ACV está dependente do sucesso na obtenção de informação e dados relativos ao sistema, sendo que as entidades sob avaliação ou pertencentes ao sector de actividade em questão têm um papel decisivo, na medida em que possuem privilegiada e relevante para a avaliação. O ICV resultante deverá incluir dados

2. Revisão de literatura

quantitativos para os vários processos unitários definidos e estar normalizado segundo a unidade funcional estabelecida (Ferreira, 2004).

Avaliação do Impacte do Ciclo de Vida (AICV) - Através da AICV é possível modelar a relevância dos dados pelo conhecimento acerca dos potenciais impactes ambientais. É igualmente possível gerir estes resultados, exibindo-os de uma forma de promova uma simples interpretação e adequada tomada de decisão (SETAC, 1993 citado por Ferreira, 2004). Os resultados conseguidos ao longo do exercício de ICV são agora organizados segundo categorias, sendo atribuídos indicadores a cada uma das categorias.

Segundo Ferreira (2004) os impactes na saúde humana, ambiente ou na futura disponibilidade de recursos naturais são resultado dos fluxos de entradas (*input*) e saída (*output*) do sistema designado. A tabela seguinte exhibe os elementos obrigatórios e opcionais de uma AICV, segundo norma ISO.

Tabela 2.5 Elementos pertencente à AICV (Fonte: adaptado de ISO 14042:2000; ISO 14040:2006)

Elementos Obrigatório	Seleção de categorias de impacte, indicadores de categoria e de modelos de caracterização	Estabelece critérios para a seleção das categorias de impacte, indicadores e avaliação de relevância ambiental;
	Classificação	Promove a atribuição dos resultados de ICV a categorias de impacte;
	Caracterização	Estabelece critérios para o cálculo dos indicadores através da atribuição de factores de equivalência, segundo o peso na categoria de impacte;
	Perfil ambiental do produto	Soma dos resultados obtendo-se um valor para cada categoria. O conjunto dos indicadores resulta num perfil ambiental;
Elementos Facultativos	Normalização	Atribuição de um factor a cada uma das categorias de impacte;
	Agregação	Agregação das categorias de impacte num único índice quantificável;
	Ponderação	Atribuição de valores consoante a contribuição de cada categoria de impacte;
	Análise da qualidade dos dados	Determinação e avaliação do erro associado

É nesta etapa da ACV que se integra a metodologia *Ecoblok* adoptada para quantificar as pressões ambientais decorrentes da actividade do transporte pesado. Os elementos teóricos, pressupostos e metodologia de aplicação da metodologia são apresentados no Capítulo 3. Saliencia-se que embora o documento ISO 14040:2006 se refira a impactes de ciclo de vida, o *Ecoblok* trabalha sobre pressões ambientais como as emissões de GEE e poluentes ou a extracção de recursos. Segundo esta lógica o termo impacte refere-se às consequências que advêm das pressões.

Interpretação dos resultados - É a última fase formal do procedimento ACV (Ferreira, 2004), na qual se avaliam os resultados obtidos nas fases anteriores e se afere acerca do cumprimento dos objectivos e âmbito assumidos. Da interpretação dos resultados surgem oportunidades de melhoria do desempenho ambiental associado às várias etapas do ciclo de vida.

2.3.3 Benefícios e limitações de um estudo ACV

De acordo com a *US Environmental Protection Agency* (USEPA, 2001) citada por Ferreira (2004), uma ACV confere as seguintes vantagens aos seus utilizadores:

- Desenvolver uma sistemática avaliação das consequências ambientais associadas a um dado produto, sector de actividade ou serviço;
- Reflectir sobre os ganhos e perdas ambientais de um produto ou processo unitário;
- Quantificar as pressões ambientais sob a forma de emissões para o ar, solo ou água e reconhecer as etapas que mais contribuem para o impacte do bem ou sector sob apreciação;
- Avaliar os efeitos sobre a saúde humana e ecossistemas provenientes do consumo de materiais e emissões;
- Efectuar a comparação de sectores entre países em relação aos seus efeitos sobre o ambiente e saúde humana;
- Identificar impactes em áreas ambientais específicas de interesse;
- Definir estratégias de mitigação de pressões e respectivos impactes decorrentes do fabrico de um determinado produto, sector de actividade ou prestação de serviço.

Uma ACV não tem em conta a vertente económica e de desempenho associadas a um determinado produto ou processo, razão pela qual se deve considerar esta metodologia como apenas mais uma de um conjunto alargado de soluções das quais depende a tomada de decisão. Mais ainda, existe elevada dependência de aquisição de dados relevantes ao estudo e dos quais está dependente a qualidade e fiabilidade do mesmo. Frequentemente este tipo de informação apenas pode ser fornecido por entidades. A fase de AICV carece de um modelo homogéneo quantificação de pressões. A existência de modelos assentes em pressupostos dissemelhantes pode gerar disparidades aquando da comparação de indicadores para semelhante objecto de estudo (Lopes, 2014).

2.3.4 Streamlined ACV

Desenvolver uma ACV pode revelar-se um processo extremamente complexo e exigente, dependendo do objecto de estudo. A aplicação da referida metodologia a um produto exige o estudo e quantificação de inúmeros processos industriais interligados e praticados em diferentes partes do mundo. O inventário pormenorizado de todos os processos é proibitivo dada a quantidade de dados necessários. O conceito de *streamlined* ACV surge da necessidade de simplificação da recolha de informação e redução de custos sem perda das principais características da metodologia. A abordagem *streamlined* pode ser feita limitando o âmbito do estudo ou alterando o procedimento de modelação. O objectivo passa sempre por conseguir reduzir a quantidade de informação necessária. Os seguintes destacam-se como sendo os principais métodos mais usuais de *streamlining* (Todd *et al.*, 1999).

Remoção total ou parcial de componentes *upstream* – Exclusão de todos os processos anteriores à manufactura do produto. Apenas considera a manufactura, utilização e gestão dos resíduos provenientes do produto sob análise;

Remoção total ou parcial de componentes *downstream* – Exclusão de todos os processos pós manufactura final do produto;

Foco em impactes ou pressões ambientais específicas – Estudo e discussão com base em categorias de impactes mais relevantes;

Uso de informação qualitativa - Perante a ausência de dados quantitativos utiliza-se informação qualitativa para definição de processos mais relevantes;

Uso de dados referentes a processos semelhantes – Perante a falta de dados referentes a determinados processos que se pretende quantificar, utilizam-se dados de processos semelhantes;

Limitação da contabilização de matérias-primas – Não contabilização de *inputs* de matérias-primas que perfaçam uma percentagem inferior a 10% do total do balanço de massa.

A *streamlined* ACV é uma remodelação do conceito de ACV, cuja finalidade é a de obter a informação necessária para uma justificada tomada de decisão ou para cumprimento dos objectivos propostos. Todavia, este tipo de aplicação ainda se encontra dependente das características de reporte dos dados e informação essenciais ao estudo, para além de carecer da incerteza associada às fontes de informação (Todd *et al.*, 1999). A metodologia *Ecoblok* é um exemplo de *streamlined* ACV pois foca-se na obtenção de pressões relacionadas com os principais processos do ciclo de vida do produto analisado, abordando as principais categorias de impactes.

3 Metodologia

3.1 Metodologia geral

O diagrama abaixo apresentado descreve a ordem de evolução da presente dissertação, que se inicia com a revisão de literatura e culmina com a apresentação dos resultados obtidos e a sua interpretação perante o contexto em que se encontram inseridos.

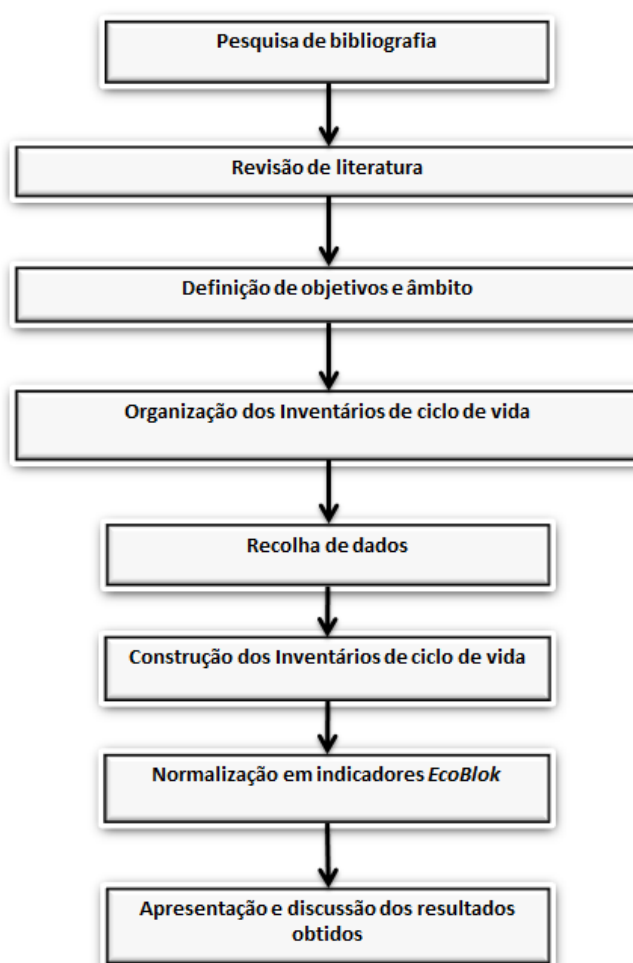


Figura 3.1 Diagrama metodológico seguido na elaboração da dissertação

O capítulo referente à revisão de literatura destina-se ao enquadramento do sector dos transportes rodoviários diferenciados de acordo com as particularidades específicas de cada um dos subsectores abordados. Inclui-se uma revisão das publicações que permitiram a aquisição e reforço de conhecimento referente ao tema e metodologia escolhidos. A determinação do âmbito e objectivos encontra-se presente na secção que sucede ao presente (3.2), sendo aqui explícito o intervalo temporal considerado nos ICV e unidade funcional

adoptada para posterior normalização dos resultados. Nos restantes subcapítulos pertencentes ao Capítulo 3 elabora-se uma discriminação das fontes de informação e bases de dados às quais se recorreu para organização dos diversos ICV elaborados, para além da referência aos pressupostos, assunções e dados relevantes nos valores apresentados nas diversas fases de ciclo de vida, para os vários inventários estabelecidos.

Após a construção dos vários ICV adaptados à realidade portuguesa procede-se à sua conversão a indicadores de pressão *EcoBlok* por meio da multiplicação dos valores pelos respectivos factores de equivalência. Desta operação resultam indicadores otimizados a criação de diversas análises, estabelecimento de comparações e obtenção de conclusões acerca das pressões ambientais inerentes aos diversos processos do ciclo de vida de um veículo rodoviário pesado. O Capítulo 4 foca-se na apresentação e discussão dos resultados dos ICV agregados pelos indicadores *EcoBlok*. O mesmo capítulo foca o desempenho ambiental da operação dos vários veículos analisados consoante a modificações de parâmetros chave como o declive, velocidade ou factor de carga de cada veículo.

3.2 Objectivos e âmbito da ACV

O objectivo primordial do estudo é a quantificação e análise das pressões ambientais associadas ao transporte rodoviário pesado em Portugal, servindo a metodologia ACV como ferramenta que permite a concretização do referido objectivo. Embora possuam fases paralelas nos seus ciclos de vida, camiões e autocarros apresentam características de operação e estruturas distintas, bem como diferentes processos de manufactura e fim de vida. Mais ainda, as emissões da fase de operação diferem entre ambos os tipos de veículo por influência dos diferentes modos de operação, velocidades praticadas ou pesos brutos. Tendo em conta estes argumentos e o facto de os veículos terem propósitos distintos, justifica-se a adopção de uma unidade funcional específica para cada um dos veículos estudados. Para os pesados de mercadorias utiliza-se a tonelada-quilómetro (tkm) e para os veículos de passageiros opta-se pelo passageiro-quilómetro (pkm). A escolha das unidades funcionais justifica-se pela capacidade que as mesmas têm de alocar as pressões ambientais por unidade de conteúdo transportado e quilómetro percorrido. Desta forma é possível avaliar o nível de eficiência da gestão do transporte e foco na optimização do veículo em termos do seu factor de carga. São portanto, unidades funcionais que penalizam políticas de transporte que promovam uma ineficiente utilização dos seus veículos na sua finalidade.

É em Portugal continental que se centra o âmbito do estudo sendo os dados referentes ao ano de 2013. A escolha deste ano de referência deve-se à não existência de dados mais recentes com semelhante grau de detalhe. Optou-se por apenas incluir no estudo veículos movidos a gasóleo na medida em que, o combustível mencionado abastece mais de 98% dos veículos pesados em circulação (INE, 2014).

São abrangidos pela fronteira do sistema as mais relevantes fases do ciclo de vida dos veículos, desde a extracção de recursos naturais para manufactura de matérias-primas até à fase de fim de vida. Também o ciclo de vida do combustível e das infra-estruturas rodoviárias estão incluídos na análise, visto que são parte fundamental do transporte rodoviário, pelo que as suas pressões ambientais deverão ser correctamente alocadas ao mesmo.

3.3 Inventário de ciclo de vida

O ICV do tipo *input-output* de qualquer produto compreende a quantificação das pressões e impactes ambientais associados à cadeia de valor do mesmo. A Figura 3.2 permite visualizar os processos fundamentais no ciclo de vida de qualquer veículo pesado, independentemente deste se destinar ao transporte de mercadorias ou passageiros.

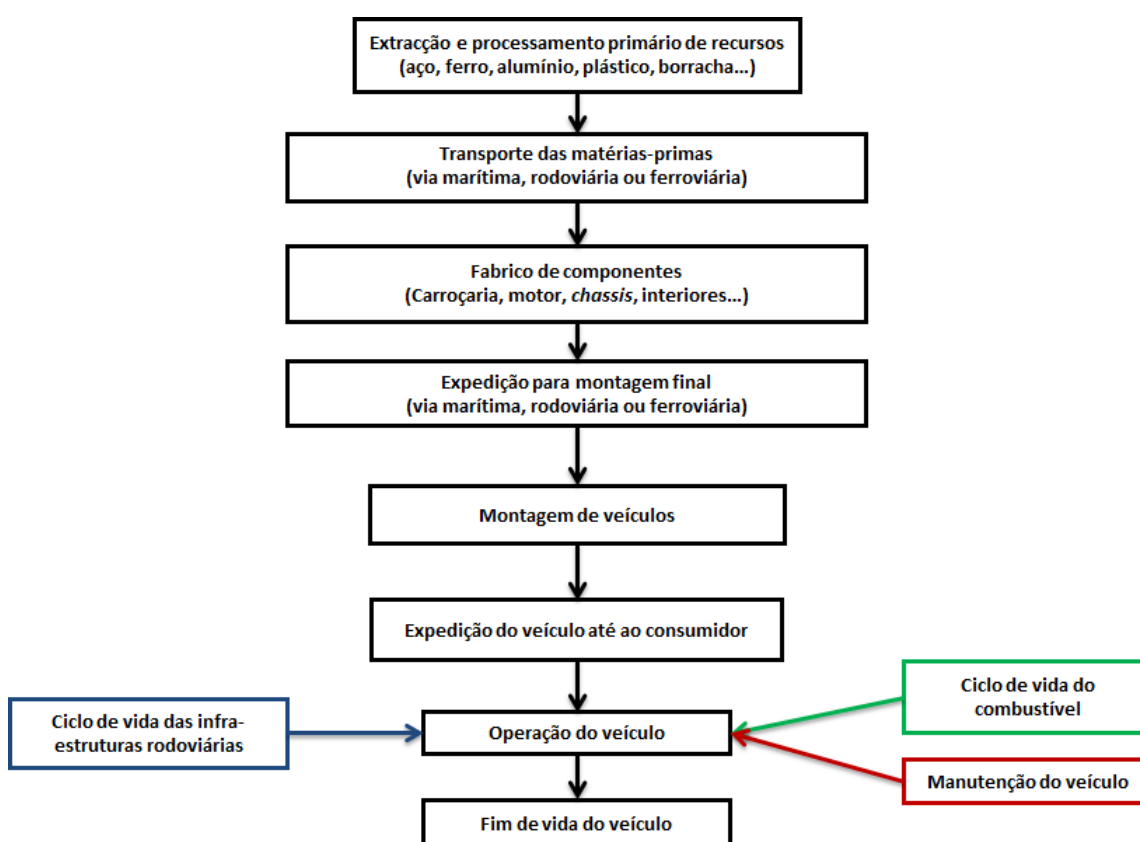


Figura 3.2 Diagrama geral relativo ao ciclo de vida de um veículo pesado rodoviário

Um veículo rodoviário resulta da conjugação de inúmeros componentes produzidos a partir materiais que permitam ao produtor atingir os padrões de qualidade, desempenho e segurança desejados para o veículo. Ferro, aço, alumínio ou borracha são alguns dos materiais mais preponderantes na sua constituição, justificando-se iniciar a cadeia de valor do produto pela obtenção dos seus constituintes directamente na sua origem. Metais como o ferro, aço ou alumínio têm a sua origem em minérios que após serem retirados das minas seguem para complexos industriais especializados na produção das fracções primárias e secundários dos

mesmos. Por norma, parte do conteúdo obtido segue para complexos industriais próximos dos locais de extracção, pelo que o transporte é assegurado por rodovia ou ferrovia. Todavia, a restante fracção destina-se para exportação para refinarias de diversos países, sendo o transporte assegurado por cargueiros (Classen *et al.*, 2009). Plásticos e borracha são os materiais não-metálicos que maior aplicação têm na constituição de um veículo pesado (Sundvor, 2013). Na origem de ambos está a utilização de combustíveis fósseis, especialmente crude, estando a sua concepção directamente relacionada com a sua extracção. Essa extracção pode ser feita “*offshore*” ou “*inshore*”, seguindo-se a expedição para os locais de refinação, sobretudo através de navios petroleiros (Lopes, 2014).

Grande parte das unidades montadas em Portugal seguem para exportação, verificando-se igualmente importação de pesados rodoviários sobretudo, camiões com pesos brutos superiores a 7,5 t. Existe 100% de importação dos camiões de porte superior devido à inexistência de produção dos mesmos a nível nacional. No ano de 2013 registou-se em Portugal um ligeiro declínio da actividade de transporte, quer de bens como de passageiros. No total, foram contabilizados 43 837 veículos especializados na movimentação de mercadorias e 12 111 autocarros em operação (INE, 2014). Importa lembrar as pressões na fase de operação de um veículo que têm em si inserido o passivo ambiental do combustível e das infra-estruturas rodoviárias, indispensáveis ao eficaz funcionamento da rede de transportes.

Portugal importa todo o petróleo consumido, chegando o mesmo às duas refinarias existentes: Sines e Matosinhos. Do processo de refinação resultam vários produtos, com destaque para o gasóleo. Os produtos de petróleo são transferidos para os vários locais de armazenagem existentes no país. Esta transferência pode ser efectuada por via marítima, ferroviária, rodoviária ou através de oleodutos. Destes locais seguem para os postos de distribuição onde o utilizador abastece a sua viatura (Lopes, 2014). A manufactura de uma infra-estrutura rodoviária, ou estrada, tem a si imputada a aplicação de consideráveis quantidades de betuminoso, betão e gravilha. A camada superficial constituída essencialmente, por gravilha e betuminoso está sujeita a um elevado desgaste devido ao constante contacto com automóvel, sendo este desgaste directamente proporcional ao peso bruto do mesmo. Em média a camada superficial tem uma vida útil de 15 anos (Spielmann *et al.*, 2007). No ano de referência para a elaboração do estudo Portugal apresentava uma rede rodoviária com 79 513 km de estrada, considerando desde auto-estradas a estradas regionais com reduzido tráfego (INE, 2014).

3.4 Recolha de informação e dados

A recolha de dados revela-se um processo complexo, por via da escassez de publicação e utilização de diferentes metodologias para sua apresentação. Verificaram-se discrepâncias assinaláveis entre dados de diferentes entidades nacionais e europeias às quais se somam estratégias de agregação e normalização de dados divergentes. Impôs-se a

necessidade de conceptualização de uma estratégia que possibilitasse a homogeneização de toda a informação relevante sem prejuízo da qualidade e precisão da mesma. Frequentemente foi necessário confrontar valores distintos para idênticos indicadores reportados por diferentes fontes, de forma a optar pelos valores com menor erro associado.

A génese dos ICV baseia-se em dois grupos de dados: dados produzidos por entidades especializadas no reporte de dados como INE, IMTT, ACAP ou EEA e valores produzidos pela base de dados de origem suíça *Ecoinvent*. Produzida pela The Swiss Centre for Life Cycle Inventories, esta base de dados tem como principal objectivo a elaboração de ICV consistentes e com elevado grau de precisão que abrangem inúmeras actividades económicas (Weidema *et al.*, 2013). Os inventários gerados pela *Ecoinvent* reflectem os processos conforme são praticados na Suíça e no contexto médio europeu (Frischknecht e Rebitzer, 2005). Importa ainda referir que os dados referentes ao ciclo de vida do petróleo provêm de um estudo anteriormente realizado através da mesma metodologia.

Portugal caracteriza-se como um país com produção industrial automóvel pouco abundante, especialmente de veículos pesados sendo assim vital o recurso a inventários de países de referência. Este procedimento é sobretudo necessário para a alocação das fases do ciclo de vida a montante da operação do produto sob análise. A aplicação deste princípio orientador da metodologia *streamlined* ACV presente na elaboração de inventários relativos a determinados processos da presente dissertação permite também o preenchimento de eventuais ausências de dados nacionais nas fases *downstream* da operação dos veículos.

Os ICV referentes aos processos desde a extracção dos recursos até à manufactura do veículo resultam exclusivamente da utilização da base de dados *Ecoinvent*. Para as classes de peso bruto com produção em Portugal procurou-se aproximar os processos o mais possível à situação real, introduzindo a importação dos componentes de acordo com os diversos locais de origem e modo de transporte até ao local de montagem. Na fase de operação, à qual estão associadas a maioria das pressões ambientais aplicou-se um conjunto de funções incluídas na base de dados Artemis e HBEFA 3.1 (Anexo A3) que determinam factores de emissão e consumos de combustível em função de variáveis determinantes como o factor de carga, velocidade do veículo ou o declive na estrada. Com recursos a relatórios estatísticos produzidos pelo INE e IMTT categorizou-se a frota portuguesa de veículos rodoviários pesados em operação no ano de 2013 por classes de peso bruto e normas Euro. Procedeu-se ainda à determinação dos parâmetros básicos de actividade dos veículos para o ano de referência, constando os mesmos de dados relativos aos quilómetros médios percorridos e toneladas/passageiros médios transportados por cada veículo.

Foram ainda elaborados percursos aproximados à realidade nacional, os quais recriam os troços das auto-estradas e cidades portuguesas mais utilizadas pelo transporte pesado. A modelação dos troços foi efectuada com recurso ao *software* Google Earth e a documentos com perfis topográficos metropolitanos de Lisboa e Porto. O desígnio deste exercício é

proporcionar uma análise das emissões associadas ao funcionamento de um veículo pesado num contexto próximo da realidade do território português. Ainda na fase de operação estão incluídas as pressões associadas ao ciclo de vida do gasóleo e das infra-estruturas rodoviárias ajustadas ao contexto português. Em relação à fase de fim de vida do veículo foi possível modificar as percentagens de valorização, reutilização e reciclagem das componentes de acordo com dados recolhidos em publicações das entidades Valorcar e Valorpneu.

3.5 Construção dos ICV

3.5.1 Enquadramento das fases do ciclo de vida

A construção de qualquer ICV descritor de determinado processo pressupõe a inclusão de diversos *inputs* e *outputs*. Por norma, aos processos típicos da cadeia de valor que caracterizam os sectores avaliados considera fornecimento de energia, consumo de recursos e infra-estruturas. Dos mesmos resultam, maioritariamente, emissões de poluentes atmosféricos, contaminantes para água e solos, assim como GEE. Deste ponto em diante será efectuada a desagregação do ciclo de vida nas suas várias fases, justificando-se os resultados obtidos em cada fase com a apresentação dos pressupostos assumidos e dados de natureza quantitativas considerados relevantes.

A descrição do procedimento de construção dos ICV apresentará toda a informação útil para os dois subsectores de actividade considerados, representando cada diagrama conceptual uma fase do ciclo de vida, cujo passivo ambiental é significativo para os valores finais em cada indicador de pressão *EcoBlok* abordado. A Tabela 3.1 faz um resumo dos processos considerados em cada fase do ciclo de vida. A completa descrição dos mesmos pode ser consultada no Anexo A1.

Tabela 3.1 Designação das fases mais significativas no ciclo de vida de um veículo pesado no contexto nacional

Fase de ciclo de vida	Principais processos	Conteúdo	Principais referências
Manufatura	Extracção de recursos	Extracção e processamento primário de ferro, aço, alumínio, chumbo, cobre, zinco, plásticos ou pneus. Fabrico de componentes da indústria automóvel.	Hischier, 2007; Classen <i>et al.</i> , 2009; Szeteiova, 2010
	Refinação dos recursos e fabrico de componentes		
	Expedição dos componentes		
	Montagem final de unidades	Enquadramento da indústria automóvel portuguesa. Descrição dos principais processos nas unidades nacionais de montagem de pesados.	INTELI, 2005; Ferreira, 2013; Guimarães, 2013; ACAP, 2014
	Importação de unidades		
Operação	Manutenções do veículo ao longo da vida útil	Evolução das normas de emissão Euro implementadas ao longo dos anos. Descrição das principais emissões associadas à circulação de um veículo pesado. Abordagem à realidade portuguesa em matérias de combustíveis.	-
	Circulação do veículo a longo da vida útil		EEA, 2014
	Ciclo de vida do gasóleo (incluído na circulação do veículo)		DGEG, 2013; DGEG 2014; BP, 2015
	Ciclo de vida das infra-estruturas rodoviárias (incluído na circulação do veículo)		ERF, 2011
Fim de vida	Desmantelamento e destino dos materiais constituintes	Descrição do sistema de fim de vida estabelecido em Portugal.	Rosa, 2009; Valorcar, 2015

Embora as proporções variem entre ambos os tipos de transporte pesado, a génese dos materiais é idêntica assim como as pressões ambientais associadas. Deste modo optou-se por descrever em simultâneo as várias etapas do ciclo de vida dos veículos pesados, efectuando uma abordagem individual de cada sector sempre que tal se justifique.

3.5.2 Extracção e processamento primário de recursos

Qualquer processo de manufatura inicia-se com um complexo sistema de extracção, refinação e processamento dos múltiplos recursos que constituem um veículo. A extracção caracteriza-se pela obtenção dos recursos do seu reservatório natural, sendo para tal necessário ocupar grandes áreas de solo e recorrer a mecanismos com consideráveis pressões ambientais.

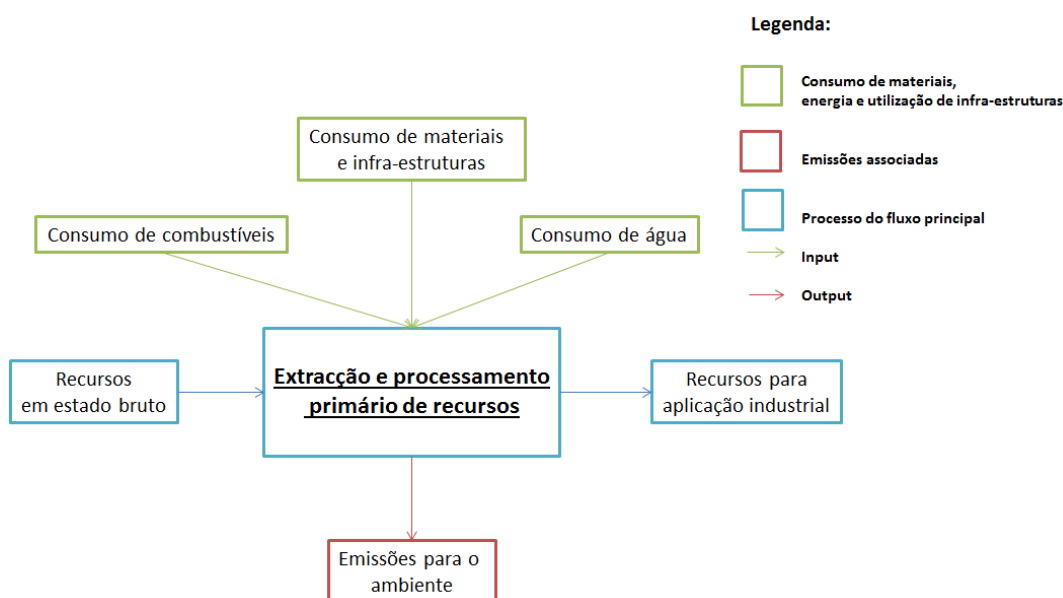


Figura 3.3 Diagrama esquemático referente à extracção de recursos para produção de veículos pesados

No caso da excisão de minérios, fonte dos metais utilizados, destacam-se as emissões de partículas para o ar, metais pesados e hidrocarbonetos para os cursos de água (Classen *et al.*, 2009). As emissões de partículas são características dos processos de extracção de minério, enquanto os metais pesados e hidrocarbonetos libertados advêm da refinação primária ou beneficiação do minério, processo agregado à actividade de extracção. Classen *et al.*, (2009) juntam o pré tratamento do minério à fase de obtenção dos minérios dos seus reservatórios naturais, pelo que se assume que o referido tratamento seja desempenhado *on-site*.

O processo de captura de minérios em estado natural tem como maior fonte de pressões a ocupação de grandes áreas de solo para exploração das reservas. Este tipo de pressão é um dos sete indicadores-chave da metodologia *EcoBlok*, sendo sensível à riqueza e importância dos solos pela sua função ecológica. No caso da exploração das reservas naturais de petróleo relevam-se as emissões de gases como efeito de estufa, perdas de hidrocarbonetos para o solo e meios hídricos ou emissões de compostos orgânicos voláteis não-metânicos (COVNM) (Lopes, 2014).

3.5.3 Fabrico de componentes

Após extracção os recursos seguem para refinação em indústria especializada. Como referido anteriormente, os recursos são expedidos para diversos países pelo mundo que se destacam na manufatura de componentes metálicos mesmo sem reservas naturais de relevo. A importação de minério é feita através de transporte rodoviário, ferroviário e marítimo (Classen *et al.*, 2009). Após a refinação, os mesmos são expedidos para as fábricas especializadas na produção e moldagem dos diversos componentes constituintes dos veículos pesados.

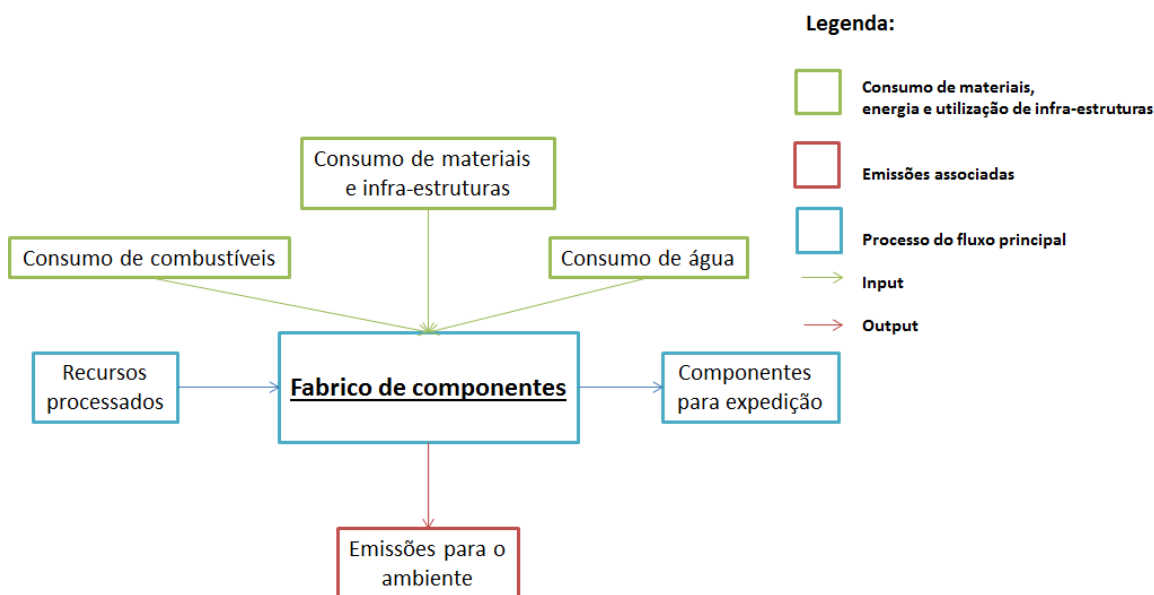


Figura 3.4 Diagrama esquemático referente ao fabrico de componentes para montagem de veículos pesados

Ao método de produção de materiais e seu processamento para componentes aplicáveis na indústria automóvel estão associadas emissões para o ar, solo e meios hídricos. Estes *outputs* resultam do fornecimento de energia vital no decorrer das diversas etapas do processo geral de manufactura. Ferro, aço, alumínio, cobre ou chumbo são metais imprescindíveis de motores, carroçarias ou chassis, componentes fundamentais na produção de qualquer veículo.

3.5.4 Expedição de componentes

Considerando o actual modelo de funcionamento da indústria automóvel, no qual existe constante fluxo de componentes entre o local de fabrico e o complexo industrial onde se procede à montagem final, importa alocar as pressões provenientes de importação. A expedição de componentes é assegurada por camiões ou cargueiros provenientes de diferentes origens.

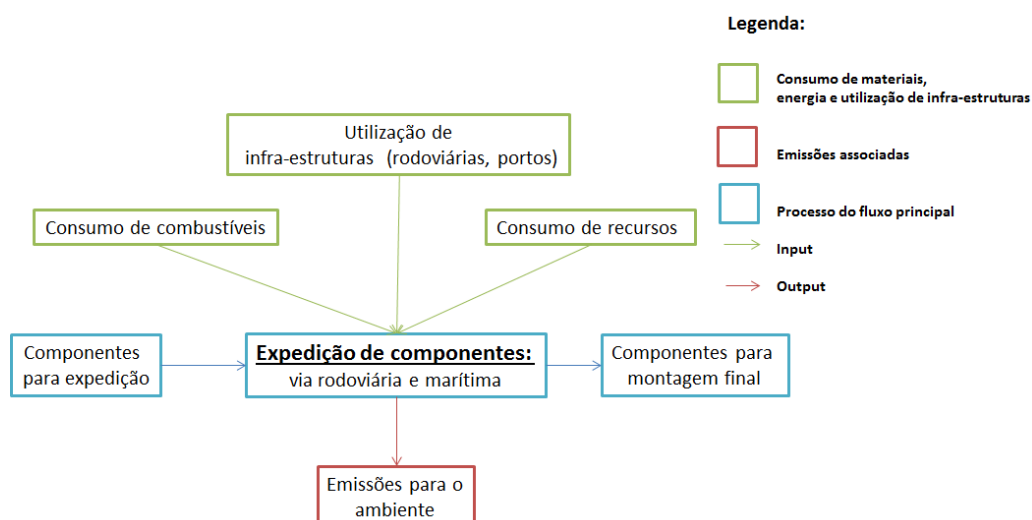


Figura 3.5 Diagrama esquemático referente ao transporte de componentes em veículos pesados

Expedição de componentes em pesados de mercadorias

A montagem de camiões em Portugal limita-se às classes de peso bruto mais reduzidas, nunca superiores a 7,5 t de peso bruto. Neste caso concreto a entidade recorre ao mercado internacional para o fornecimento de componentes fundamentais na montagem final dos veículos produzidos. O inventário produzido para a manufactura desta classe específica insere em si os impactes resultantes de importação de componentes até território nacional modelado de acordo com as especificações dadas pela Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Origem e modo de transporte das componentes importadas para montagem de pesados de mercadorias até 7,5 t de peso bruto (Fonte: adaptado de Ferreira, 2013a)

Origem	Distância média (km)	Modo de transporte	Importação (%)
Europa	1 567	Camião 34-40 t	60
Ásia	21 351	Navio transoceânico	25
Portugal	100	Camião 34-40 t	15

Os valores apresentados são referentes às práticas de importação de constituintes praticadas pela entidade Mitsubishi Fuso Trucks Europe S.A, a mais relevante no âmbito abordado.

Expedição de componentes em pesados de passageiros

Portugal possui montagem de carroçarias de autocarros especializados em transporte urbano e de longa distância até um peso bruto de 18 t. A entidade CaetanoBus assume a montagem das referidas classes baseando o seu modelo de negócio na importação das

componentes a diferentes mercados para posterior montagem, à semelhança da grande maioria da indústria automóvel nacional (Guimarães, 2013).

Actualmente a grande maioria dos autocarros urbanos e de longa distância a operar nas frotas das principais concessionárias do transporte rodoviário pesado de Lisboa e Porto, apesar de pertencerem a diversas marcas, são produzidos em Portugal pela CaetanoBus, fundada em 2002 (Guimarães, 2013). Serve esta informação para justificar o pressuposto de que a grande maioria dos veículos pesados de passageiros em Portugal têm a si alocados pressões geradas por um complexo processo logístico de expedição das diversas componentes constituintes oriundas de variados locais. A expedição das peças e materiais para o local de montagem final tem a si associadas as implicações ambientais já mencionadas sendo no entanto, diferenciado o modo de transporte das mesmas consoante o local de proveniência. O processo de importação inserido na manufactura foi modelado segundo os dados expostos na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 Origem e modo de transporte das componentes importadas para montagem de pesados de passageiros (Fonte: adaptado de Ferreira, 2013b); Cunha, 2013)

Origem	Distância média (km)	Modo de transporte	Peso na constituição de cada unidade (%)
Europa	1 567	Camião 34-40 t	64
Ásia	21 351	Navio transoceânico	10
Portugal	120	Camião 34-40 t	26

3.5.5 Montagem final

Após a obtenção de todas as componentes necessárias ao correcto funcionamento do produto final procede-se, finalmente, à montagem final do veículo e actividades anexas como a pintura ou tratamentos anti-corrosão (Ferreira, 2013a).

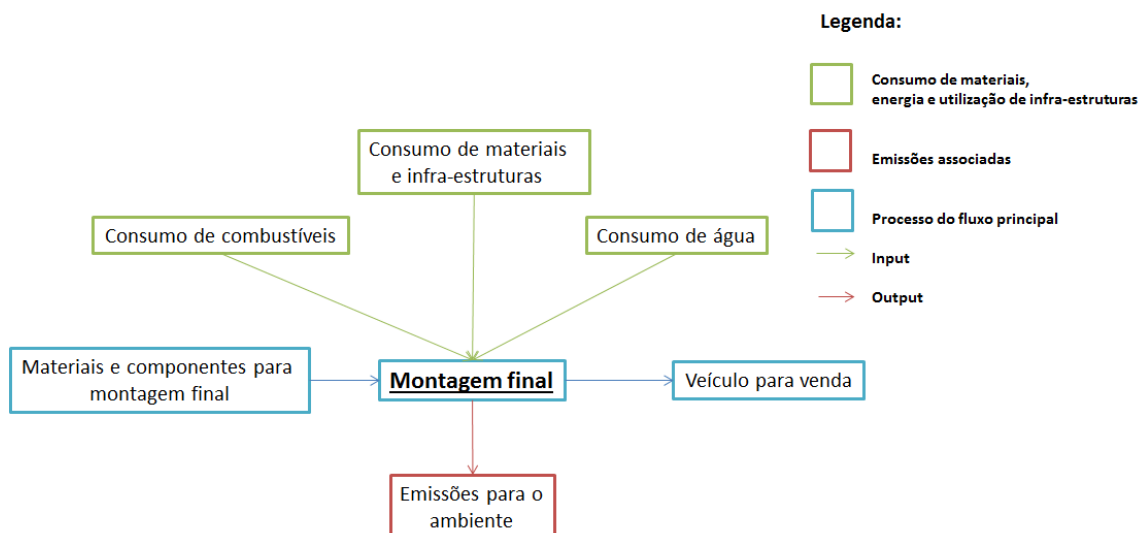


Figura 3.6 Diagrama esquemático referente à montagem final de veículos pesados

À actividade de manufactura está associado um elevado passivo ambiental expresso através dos sete indicadores *EcoBlok*. Importa ter em conta que estão aqui contabilizadas todas as pressões dos processos pelos quais os *inputs* maioritários passaram anteriormente. Só desta forma se consegue quantificar a totalidade da pegada ecológica de todas as actividades que ocorrem a montante da montagem do veículo. As pressões ambientais por unidade produzida são consideráveis, sendo de destacar as emissões de GEE e recursos extraídos. Veículos com diferentes especificações estruturais requerem diferentes quantidades de *inputs* gerando pressões variáveis. Tendo em conta esta realidade e o facto de os ICV disponíveis pelo *Ecoinvent* apenas caracterizarem três tipos de pesados de mercadorias, optou-se por introduzir alterações que resultaram em ICV que melhor descrevem os atributos e pressões de cada classe de peso bruto. Semelhante abordagem foi feita na alocação para a fase de fim de vida. De acordo com a base de dados *Ecoinvent*, por cada unidade produzida verificam-se perdas de recursos que perfazem 50% da tara da unidade.

Montagem de pesados de mercadorias

Além da incorporação das variações por dimensão e peso de unidade produzida, procurou-se igualmente integrar a evolução dos processos *upstream* ao longo das últimas décadas, tomando como referência os anos de introdução das diferentes normas de emissões para fontes móveis da União Europeia.

Tabela 3.4 Evolução das pressões verificadas na fase de montagem final de camiões
(Fonte: adaptado de ACEA, 2013; Volvo Environmental Group, 1996; Volvo Environmental Group 2000; Volvo Environmental Group 2002; Volvo Environmental Group 2005; Volvo Environmental Group, 2008)

Norma Euro	Variação das emissões de CO₂ por unidade produzida, face à norma Euro III	Variação das emissões de poluentes atmosféricos por unidade produzida, face à norma Euro III	Variação dos consumos de água por unidade produzida, face à norma Euro III	Variação do consumo de recursos por unidade produzida, face à norma Euro III
Pré Euro I	+10%	+10%	+170%	+5%
Euro I	+5%	+1%	+150%	+5%
Euro II	-5%	-30%	+100%	+3%
Euro IV	- 35%	-40%	+9%	+2%
Euro V	- 45%	-55%	-5%	+2%

Os valores exibidos na tabela imediatamente anterior resultam da consulta e comparação de dados reportados em relatórios ambientais de diferentes anos para os locais de produção dos camiões tomados como referência no exercício de alocação das pressões inerentes à manufactura. Desta forma as referidas variações foram inseridas nos respectivos ICV possibilitando simular a evolução da indústria automóvel ao longo do tempo. Perante a ausência de dados relativos ao progresso de práticas de tratamento de efluentes e volume de águas residuais libertadas, o indicador para quantificar a poluição de água e solo (PWL) foi o único que se manteve inalterado.

Montagem de pesados de passageiros

Elevados consumos de recursos, ocupação do solo ou produção de gases com efeito de estufa surgem também como consequência da mesma. Todavia, tais consequências expressam-se a diferentes escalas dependendo do ano e características dos veículos produzidos. A Tabela 3.5 apresenta as variações de pressões ambientais por norma Euro. Estas variações resultam das alterações de práticas industriais e de exploração dos recursos ao longo dos anos, bem como a evolução tecnológica, de legislação e fiscalização implementadas gradualmente.

Tabela 3.5 Evolução das pressões verificadas na fase de montagem final de autocarros (Fonte: adaptado de ACEA, 2013; Volvo Environmental Group, 1996; Volvo Environmental Group, 2000; Volvo Environmental Group, 2002; Volvo Environmental Group, 2005; Volvo Environmental Group, 2008)

Norma Euro	Variação das emissões de CO ₂ por unidade produzida, face à norma Euro III	Variação das emissões de poluentes atmosféricos por unidade produzida, face à norma Euro III	Variação dos consumos de água por unidade produzida, face à norma Euro III	Variação do consumo de recursos por unidade produzida, face à norma Euro III
Pré Euro I	+10%	+10%	+170%	+5%
Euro I	+5%	+1%	+150%	+5%
Euro II	-5%	-30%	+100%	+3%
Euro IV	- 2%	+0%	+25%	+2%
Euro V	- 40%	-40%	+4%	+2%

3.5.6 Expedição de veículos

Concluída a montagem do pesado, o mesmo destina-se para consumo interno ou exportação. No caso português a grande maioria dos veículos provêm de entidades com produção localizada na Europa (ACAP, 2014).

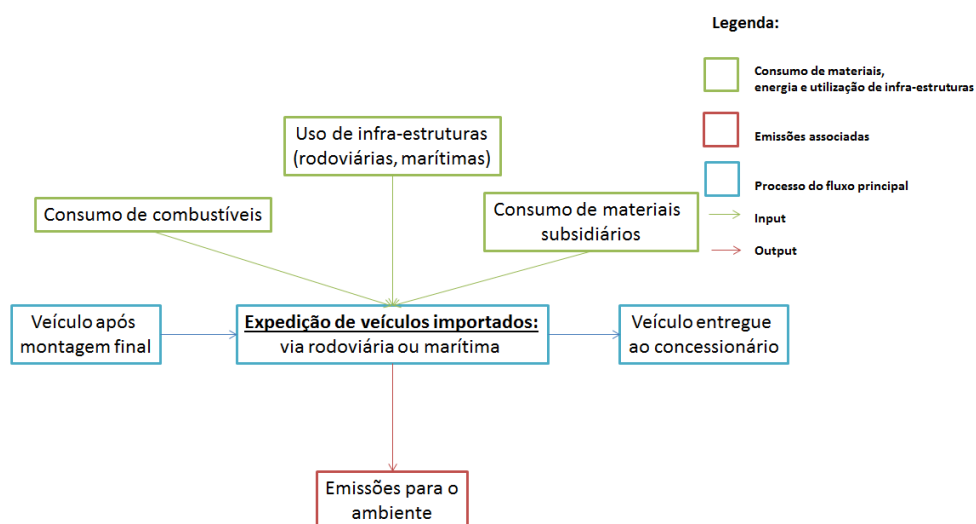


Figura 3.7 Diagrama esquemático referentes à expedição de veículos pesados importados

Importação de pesados de mercadorias

Como referido anteriormente, em Portugal não se produzem veículos pesados com peso superior a 7,5 t, situação que induz a total importação destes veículos em mercados

internacionais. Perante esta realidade foram utilizados os inventários base disponíveis pela *Ecoinvent* que caracterizam de forma detalhada o processo industrial europeu.

Dada a escassez de informação acerca do processo logístico de importação dos veículos para Portugal assume-se um valor médio distância como referência, entre a cidade de Gent e Lisboa. Este percurso específico foi escolhido com base em dados reportados pela Volvo, que efectua a distribuição dos seus produtos desde a fábrica de montagem final na cidade belga até ao sul da Europa. A expedição dos veículos até ao comprador é feita através de navios *Roll-on/Roll-off* (Ro/Ro) que são uma solução muito utilizada, inclusive em expedições dentro do mesmo continente. Estimou-se um percurso provável efectuado pelo navio entre o porto do local de origem e o porto de Setúbal. A designação do porto situado a sul de Lisboa como local preferencial de descarga deve-se ao facto de 90% de todos os navios Ro/Ro aportarem ali. Por vezes ocorrem encomendas isoladas ou consideradas urgentes. Para estas situações o procedimento passa por assegurar a entrega do veículo através de condutor designado pela marca que conduz o veículo até ao comprador. Este procedimento de entrega é pouco usual, estando destinado a situações de entrega isolada de unidades produzidas à medida do cliente ou em situações de entrega urgente (Martins, 2014).

Reconhece-se que a alocação dos impactes inerentes ao processo de importação de camiões tem margem de erro associado, uma vez que são desconhecidos alguns detalhes da logística do transporte como os itinerários definidos ou número médio de unidades médias movimentadas por viagem. A importação por via marítima é tida como a mais frequente, dada a possibilidade de transporte de diversas unidades por viagem.

Tabela 3.6 Percurso médio de expedição de camiões entre local de montagem final e Portugal (Fonte: Volvo Environmental Group, 2014 ; Martins, 2014)

Origem	Modo de importação (%)	Distância média (km)
Gent (Bélgica)	Rodoviário (10%)	2 024
	Marítimo (90%)	1 913

As pressões ambientais inerentes ao transporte do veículo são normalizadas segundo a unidade funcional tkm. As principais considerações a registar sobre a operação de veículos pesados de mercadorias são explícitas na descrição do diagrama conceptual referente ao mesmo, aplicando-se essas considerações à presente fase do ciclo de vida.

Importação de pesados de passageiros

Inclui-se para o subsector do transporte pesado colectivo uma percentagem para veículos manufacturados na Europa e posteriormente exportadas para Portugal, já prontos a operar. A expedição dos veículos por via marítima verifica-se em situações de transporte de múltiplas viaturas em simultâneo. Surge como referência a fábrica de montagem final da

entidade Volvo situada em Saffle na Suécia. Através do porto marítimo de Gotemburgo os veículos seguem para o comprador através de navios de carga Ro/Ro. A relevância da marca no mercado português justifica a escolha do seu local de produção com sendo a referência para elaboração dos cálculos necessários.

Por força da escassez de dados detalhados e tendo em conta a origem maioritária, assumiu-se para efeito dos cálculos 100% de importação dos autocarros pré norma Euro III. Ainda que seja um pressuposto distante da realidade o mesmo permite equilibrar os valores obtidos para os ICV, visto que foi igualmente assumido que 100% dos veículos de Euro III em diante são produzidos exclusivamente em Portugal.

Tabela 3.7 Percurso médio de expedição de autocarros entre local de montagem final e Portugal (Fonte: Volvo Environmental Group, 2014)

Origem	Modo de importação	Distância média (km)
Gotemburgo (Suécia)	Marítimo	2 862

Neste caso concreto, as pressões ambientais inerentes ao transporte do veículo são normalizadas segundo a unidade funcional pkm.

3.5.7 Operação de veículos pesados

As fases *upstream* do ciclo de vida de um veículo pesado inserem em si pressões ambientais muito consideráveis, todavia as mesmas têm uma expressão reduzida na maioria dos indicadores quando comparadas com a fase de operação. Na operação dos veículos pesados são considerados *inputs* de combustível, utilização das infra-estruturas rodoviárias e as operações de manutenção ao longo de toda a vida útil do camião, conforme se pode observar pela Figura 3.8.

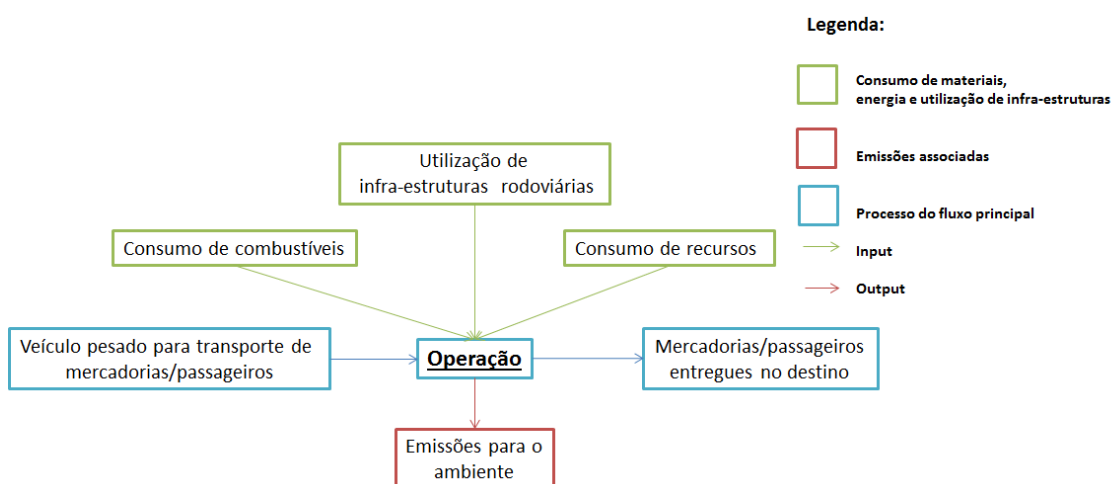


Figura 3.8 Diagrama de esquemático referente à fase de operação de um veículo pesado

As emissões originárias da fase de transporte devem-se sobretudo, à queima do combustível. O combustível consumido, as emissões de CO₂, CO, partículas ou NO_x dependem directamente das condições de operação do veículo. Emissões de GEE, poluentes atmosféricos ou consumo de recursos provenientes das fases manutenção e da produção do gasóleo e das infra-estruturas rodoviárias são tidos em conta na fase de operação do veículo, na medida em que são processos essenciais para o normal funcionamento da mesma.

Operação de pesados de mercadorias

O desempenho de um veículo pesado está dependente de factores concretos de operação. O declive, velocidade e factor de carga são as principais variáveis a ter em conta. Através de um conjunto de funções criadas para as bases de dados Artemis e HBEFA foi produzido um ICV adequado à realidade do funcionamento de camiões em Portugal. O seguinte quadro apresenta os valores utilizados para elaboração do cenário médio de operação dos dois tipos de veículos pesados de mercadorias considerados, rígido e articulado.

Tabela 3.8 Caracterização dos parâmetros-chave assumidos para cálculos de pressões associadas ao transporte rodoviário de mercadorias em Portugal (Fonte: adaptado de INE, 2014; APA, 2014b); EEA, 2014)

Classe de peso bruto	Factor de carga médio (%)	Velocidade média (km/h)	Declive médio (%)
7,5-12 t (Rígido)	37,8	35	0
14-20 t (Rígido)	53,8	86	0
34-40 t (Articulado)	76,2	86	0

A escolha das classes de peso bruto apresentadas na Tabela 3.8 justifica-se pela influência das mesmas no transporte de mercadorias. A referida influência é medida pelo número de veículo da classe a operar e elevado número de tkm efectuados pelas mesmas. A escassez de informação acerca do tipo de percurso efectuado por cada classe de veículo resultou na assunção do pressuposto de que qualquer veículo rígido com peso bruto inferior a 14 t serve exclusivamente para movimentação de mercadorias em espaço urbano. Desta classe de peso bruto em diante todos os veículos pesados destinam-se a efectuar distribuição de mercadorias a médias e longas distâncias, isto é, transporte interurbano e internacional.

Os factores de carga médios foram determinados pelo quociente entre o total de tkm atribuídos a cada classe e o número de veículos em circulação em idêntico período de tempo. Desta operação resulta uma distribuição equitativa de tkm por todos os veículos da classe, independentemente da sua tecnologia. Embora esta seja uma situação improvável, visto que faz sentido o uso mais frequente de veículos modernos e com eficiência superior, a falta de dados relativos à frequência de utilização da frota determinou a implementação de tal abordagem.

3. Metodologia

Através da contabilização das pressões ambientais inerentes à operação de toda a frota rodoviária pesada especializada no transporte de mercadorias é possível ter conhecimento da real dimensão do passivo ambiental gerado pelo sector. Tendo em conta que o desempenho dos veículos varia entre diferentes classes de peso bruto e norma de emissão Euro importa caracterizar o parque automóvel em funcionamento pelas categorias referidas, para o ano de 2013. No total, registaram-se 43 837 veículos pesados de mercadorias activos em Portugal para o ano referido (INE, 2014).

Tabela 3.9 Agregação do total de pesados de mercadorias por respectiva classe de peso bruto e norma de emissão (Fonte: adaptado de IMTT, 2014; INE 2014)

	Euro V	Euro IV	Euro III	Euro II	Euro I	Pré Euro	Total
Rígidos							
<=7,5 t	586	904	1 580	997	575	380	5 022
7,5-12 t	881	757	1 317	798	430	285	4 468
>12-14 t	146	210	394	274	178	127	1 329
>14-20 t	638	853	1 666	1 234	921	776	6 088
>20-26 t	438	924	1 181	534	260	159	3 496
>26-28 t	82	117	199	128	80	58	664
>28-32 t	89	110	209	126	72	58	664
>32 t	41	58	100	64	40	29	332
Articulados							
14-20 t	6	7	8	3	1	0	25
>20-28 t	9	10	12	5	2	0	38
>28t-34 t	263	266	321	138	56	13	1 057
>34-40 t	3 464	3 506	4 223	1 808	739	160	13 900
>40-50 t	1 010	1 022	1 231	527	216	46	4 052
>50-60 t	673	682	820	351	144	31	2 701

Dados relativos à quilometragem percorrida e tkm de cada classe são fundamentais para a normalização das pressões ambientais de acordo com a unidade funcional de referência. A Tabela 3.10 resulta de um elaborado processos de compatibilização de dados reportados por diferentes entidades, cujo método de apresentação variava consideravelmente. Assim sendo, a distribuição do total de tkm por cada classe tem a si associada incerteza, estando no entanto, a ordem de grandeza correcta e a preponderância de cada classe devidamente hierarquizada.

Tabela 3.10 Distribuição das mercadorias transportadas e distância percorrida pelas classes de pesos de mercadorias (Fonte: adaptado de INE, 2014)

Classe de peso bruto	Tonelada quilómetros alocados a cada classe (10 ⁶ tkm)	Quilómetros percorridos por cada classe (10 ³ km)
Rígidos		
<=7,5 t	106	106 887
7,5-12 t	138	107 135
>12-14 t	116	40 330
>14-20 t	686	187 366
>20-26 t	705	157 632
26-28 t	43	42 029
28-32 t	93	48 776
>32 t	50	26 948
Articulados		
14-20 t	10	2 831
20-28 t	23	3 440
28-34 t	1 349	104 452
34-40 t	22 296	1 492 048
40-50 t	6 125	420 668
50-60 t	4 141	280 445

A avaliação do desempenho do sector em 2013 surge da concretização de dois exercícios essenciais. Em primeiro lugar a produção de ICV adaptados a diferentes normas Euro e classes de peso bruto, com posterior aproximação à realidade portuguesa. Em seguida alocou-se o número de veículos pertencentes a cada tipo de inventário, resultando daí uma análise ao desempenho do transporte rodoviário pesado de mercadorias português em 2013 realizado segundo a metodologia ACV. O número médio de anos de vida útil de um pesado de mercadorias é de 16 anos (Gomes, 2011).

Foram igualmente tidas em consideração pressões ambientais provenientes da manufactura, operação e manutenção de todos os tipos de rodovias em funcionamento no ano de 2013. Para tal os inventários de ciclo de vida *Ecoinvent* sobre os referidos processos foram adaptados aos 79 513 km de rodovias existentes distribuídas pelas diferentes categorias.

Tabela 3.11 Distribuição das estradas de acordo com as suas características (Fonte: adaptado de ERF, 2011)

Auto-estrada (km)	Estradas nacionais (km)	Estradas regionais (km)	Outras estradas (km)	Total (km)
2 623	5 958	4 409	63 900	79 513

Foi considerado que o transporte rodoviário de mercadorias representa sensivelmente 12% do total de movimentos rodoviários monitorizados (EURF, 2011). Em termos práticos significa que apenas se associam 12% das pressões ambientais totais das infra-estruturas rodoviárias ao referido subsector. Esta percentagem resulta da determinação do total de vkm realizados nas estradas portuguesas por cada tipo de transporte rodoviário através uma análise produzida pelo Eurostat.

Operação em pesados de passageiros

No âmbito do presente estudo a caracterização do cenário médio de transporte pesado de passageiros reparte-se pelas seguintes modalidades: transporte urbano, interurbano regular e interurbano expresso. A escolha dos referidos serviços justifica-se pela importância e dissemelhanças entre os mesmos. O transporte urbano, que regista o fluxo diário de passageiros transportados e pkm realizados, caracteriza-se por velocidades médias muito reduzidas e constantes paragens. O transporte interurbano efectua as ligações entre centros urbanos, mais ou menos distantes, com velocidades médias superiores ao exemplo anterior e movimento menos inconstante. A sua deslocação caracteriza-se por frequentes paragens em diversas localidades. Os serviços expresso têm velocidades mais elevadas e constantes, na medida em não efectuam paragens tão frequentes como é recorrente no interurbano regular e as viagens decorrem pelas principais infra-estruturas rodoviárias de alta velocidade existentes. Em contrapartida, o serviço expresso é mais dispendioso para o utilizador, quando comparado com o serviço interurbano regular.

Recuperando a metodologia adoptada para quantificar as pressões do transporte de mercadorias, o desempenho ambiental da movimentação de passageiros é avaliado através do cálculo de emissões de poluentes e consumos de combustível que dependem da velocidade de operação, número de passageiros e declive da estrada. Os inventários de emissões resultam da integração das equações Artemis e HBEFA nos inventários de ciclo de vida produzidos pela base de dados *Ecoinvent*. A Tabela 3.12 refere os dados assumidos na produção dos ICV médios de transporte pesado de passageiros.

Tabela 3.12 Caracterização dos parâmetros-chave assumidos para cálculos de pressões associadas ao transporte rodoviário pesado de passageiros (Fonte: adaptado de INE, 2014; APA, 2014b); EEA, 2014)

Classe de peso bruto	Taxa média de ocupação (%)	Velocidade média (km/h)	Declive médio (%)
15-18 t (Urbano)	42,4	15	0
<= 18 t (Serviço expresso)	40,0	90	0
<= 18 t (Serviço Interurbano)	29,1	50	0

3. Metodologia

O transporte urbano é assegurado, na sua maioria, por veículos com peso bruto entre as 15 t e as 18 t, enquanto o transporte de longa distância é feito por veículos com peso superior a 18 t de peso bruto. São estes os veículos mais frequentes nos serviços públicos nacionais, ou seja, os que mais quilómetros percorrem e mais passageiros movimentam no ano de referência em cada tipo de serviço (INE, 2014). As taxas médias de ocupação resultam da distribuição do total de pkm reportados para cada tipo de serviço pelo número de veículos em circulação, no ano de referência, para assegurar esse mesmo serviço.

Tabela 3.13 Agregação do total de pesados de passageiros por respectiva classe de peso bruto e norma de emissão (Fonte: adaptado de IMTT, 2014; INE 2014)

	Classe de Peso Bruto	Euro V	Euro IV	Euro III	Euro II	Euro I	Pré Euro	Total
Serviço Urbano	<=15 t	266	313	555	435	392	396	2 356
	15-18 t	609	717	1 273	998	900	908	5 406
	Articulado >18 t	65	76	135	106	95	96	573
Serviço Interurbano	<=18 t	144	169	300	235	212	214	1 274
Serviço Ocasional e especializado	15-18 t	200	148	266	172	110	95	991
	<=18 t	80	59	106	69	44	38	395
Serviço Expresso	<=18 t	187	132	301	229	150	118	1 116

A Tabela 3.13 acima surge de um complexo processo de homogeneização de dados reportados por diferentes entidades especializadas na publicação de informação estatística. Posteriormente, procedeu-se à adaptação para as classes estabelecidas pela *European Environmental Agency*, consideradas as mais adequadas para o âmbito do estudo. O processo de inventariação de todos os veículos pesados de passageiros em funcionamento, caracterização dos serviços realizados e passageiros transportados para o ano de 2013 agregados por peso bruto e por tecnologia é fundamental para a quantificação das pressões ambientais totais associadas ao sector em questão.

Tabela 3.14 Distribuição dos passageiros transportados e distância percorrida pelas classes de autocarros (Fonte: adaptado de INE, 2014; EEA, 2014)

Tipo de serviço	Classe de peso bruto	Passageiros quilómetro alocados a cada classe (10 ⁶ pkm)	Número de serviços efectuados (10 ³ serviços)	Passageiros transportados (10 ³ passageiros)
Urbano	<=15 t	671	4 455	135 278
	15-18 t	1 407	8 155	283 565
	Articulado >18 t	241	2 292	48 517
Interurbano	<=18 t	505	3 247	52 336
Ocasional e especializado	15-18 t	849	635	14 147
	<=18 t	339	253	5 639
Expresso	<=18 t	2 304	521	6 951

O transporte ocasional e especializado refere-se, maioritariamente, a serviços de transporte escolar, de trabalhadores e a circuitos turísticos. Os resultados computados para cada um dos indicadores estabelecidos na fase de operação inserem em si as pressões provenientes do ciclo de vida das rodovias e gasóleo consumido em Portugal. Importa referir que o transporte pesado de passageiros representa 8% da frequência das referidas rodovias (ERF, 2011). Em média um autocarro tem uma vida útil de 17 anos (Gomes, 2011), sendo esta a idade adoptada para alocação dos impactes à vida útil de cada veículo.

3.5.8 Fim de vida

O fim de vida do veículo marca o limite da fronteira de sistema da corrente ACV. Esta fase do ciclo de vida define-se pelo desmantelamento do veículo de modo a promover a reciclagem e reutilização de diversos componentes pertencentes à sua estrutura. Esta actividade decorre em instalações específicas e exige *inputs* de energia, materiais e infra-estruturas próprias.

3. Metodologia

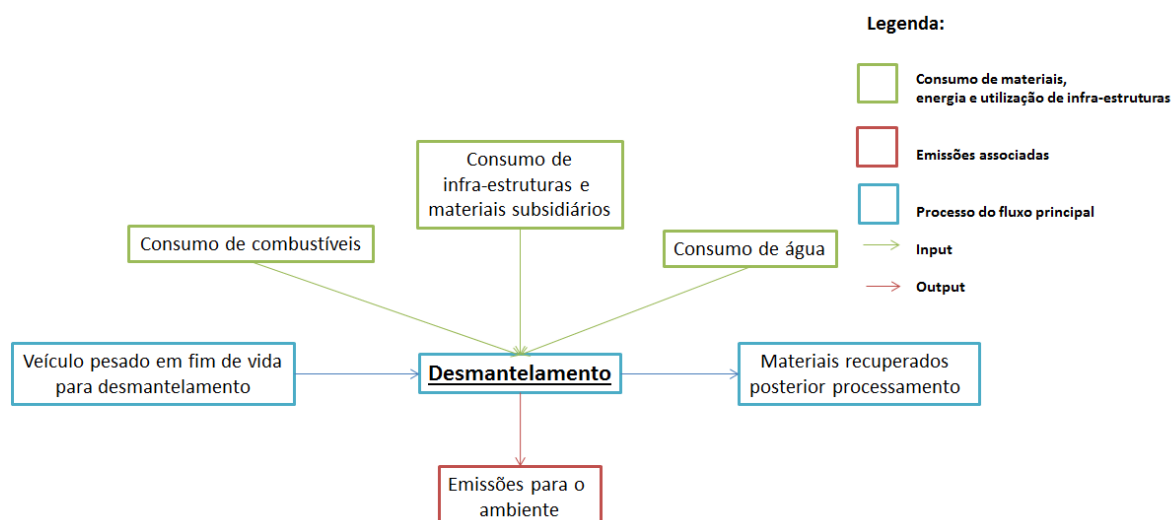


Figura 3.9 Diagrama de esquemático referente à fase de fim de vida de um veículo pesado

O desmantelamento do produto para fins de valorização, reciclagem e reutilização dos materiais exige consumos de fontes de energia primária, materiais subsidiários e recursos hídricos. O procedimento acarreta ainda emissões CO₂, NO_x, CO, partículas e metais pesados, assim como a produção de consideráveis quantidades de resíduos com vários níveis de toxicidade.

Foi realizada uma alocação das pressões ambientais do processo de desmantelamento segundo os dados produzidos pela base de dados *Ecoinvent*. Todavia, foi possível através de dados reportados pela Valorcar aproximar o inventário às práticas de desmantelamento em Portugal no ano de referência. Para tal foram alteradas as quantidades de materiais reutilizados, reciclados e valorizados, tendo como base as percentagens abaixo representadas.

Tabela 3.15 Destinos dos constituintes dos veículos em fim de vida no ano de 2013
(Fonte: Valorcar, 2014)

Destino dos materiais	Resultados em 2013 (%)
Reutilização/reciclagem	85
Valorização energética	7,7
Taxa global de aproveitamento	92,7

Os constituintes metálicos são, na sua grande maioria, reaproveitados e novamente inseridos num circuito industrial. Podem ser directamente aplicados na composição de novos produtos ou passar por um processo de refinação prévio (Classen *et al.*, 2009). A valorização energética é aplicada sobretudo a pneus em fim de vida útil. A taxa global de aproveitamento das partes constituintes automóveis tem vindo a sofrer uma significativa evolução em anos recentes, atingindo em 2014 cerca de 96% (Valorcar, 2015).

O ciclo de vida de um veículo é, hoje em dia, um processo cíclico. A evolução de práticas de produção e de desmantelamento permitem a melhoria das taxas de aproveitamento dos recursos. Dadas as circunstâncias nas quais se molda e gere o fluxo dos produtos em destaque na presente tese, o exercício de ACV realizado acaba por abranger todas as fases, ainda que com diferentes níveis de detalhe.

A integração do conjunto de dados apresentados ao longo da descrição metodológica, cruciais para a obtenção dos resultados nos diversos inventários processados pela base de dados *Ecoinvent* permitem moldar o passivo ambiental ao contexto nacional. A adaptação dos valores de *inputs* e *outputs* das fases de manufactura e operação aos diferentes anos de produção dos camiões e autocarros e identificados segundo a respectiva norma Euro revelou-se muito importante na caracterização do sector. A evolução tecnológica registada ao longo dos anos tem permitido uma progressiva redução das pressões ambientais inerentes a todos os processos incluídos na produção e funcionamento do conjunto de unidades analisadas, que abrangem um período temporal de 30 anos de funcionamento do sector.

3.6 Avaliação de impactes

3.6.1 Metodologia *EcoBlok*

A metodologia *EcoBlok* tem como principal propósito a descrição e comparação do desempenho ambiental de produtos, organizações ou mesmo sectores. A metodologia é apropriada à ACV porque os seus indicadores padronizados são aplicáveis aos ICV das múltiplas fases do ciclo de vida.

O conjunto de indicadores seleccionados têm a particularidade de serem de fácil recolha, compreensão e comparação. Integram informação específica e apresentam resultados de simples padronização (Pegado, Melo e Barros, 2201; Pegado e Melo, 2002). São indicadores de pressão ambiental baseados no modelo DPSIR (*Driving Forces- Pressures- State-Impact-Responses*), modelo de referência em organizações como a *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) ou a *European Environmental Agency* (EEA).

Ao contrário de outros sistemas de indicadores, não se pretende analisar impactes sobre os destinatários finais (endpoints) mas sim impactes indirectos. A máxima abrangência de influências ambientais ou independência entre os indicadores foram alguns dos critérios nos quais se baseou a escolha dos sete indicadores *EcoBlok* apresentados na Figura 3.11.

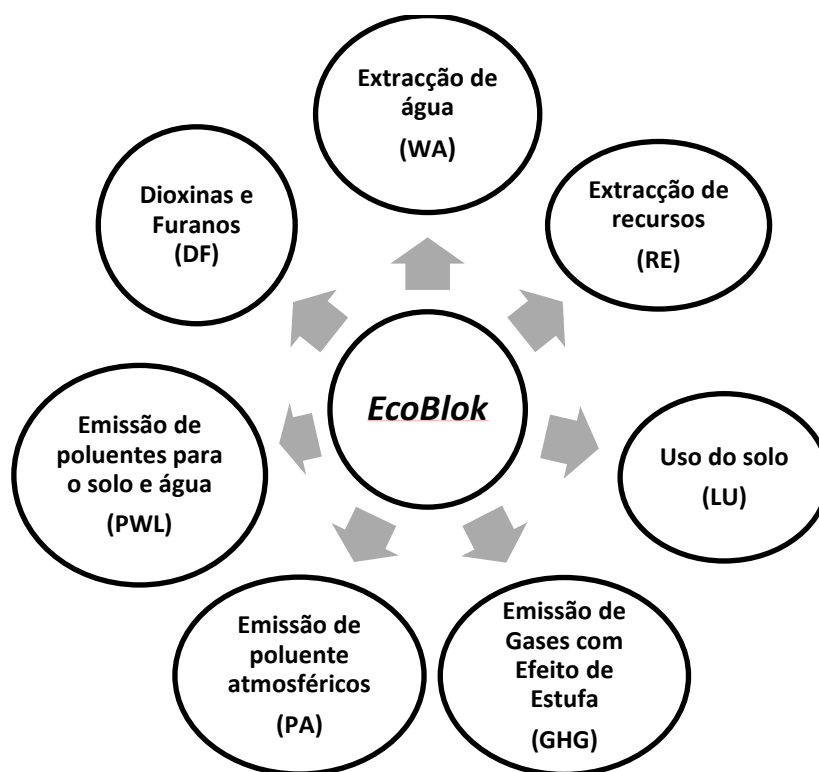


Figura 3.10 Indicadores de pressão ambiental *EcoBlok* (adaptado de Macedo, Sobral e Melo, 2005; Melo *et al.*, 2010)

Os indicadores *EcoBlok* resultam da agregação de diversas variáveis elementares num índice *EcoBlok* expresso em unidade de área, hectares globais (ha global) segundo a metodologia da Pégada Ecológica (Venetoulis *et al.*, 2004, citado Macedo, Sobral e Melo, 2005). Contudo, a presente dissertação não inclui aglomeração de resultados no índice *EcoBlok*, optando por abordar o desempenho ambiental do sector do transporte pesado apenas cm base nos indicadores estabelecidos.

3.6.2 Indicadores *EcoBlok*

Antes de se fazer uma descrição de cada um dos sete indicadores utilizados para avaliar o desempenho do sector do transporte rodoviário pesado em Portugal, apresenta-se uma breve revisão das características que tornam estes os indicadores mais adequados numa abordagem ACV.

A capacidade de simplificação e padronização dos resultados obtidos e o comportamento linear dos indicadores permitem o transporte ou adição dos referidos resultados ao longo da cadeia produtiva (Pegado, Melo e Barros, 2001). Dada a simplicidade de recolha da informação necessária que se encontra disponível em Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) ou relatórios de sustentabilidade de organizações, o método *EcoBlok* revela-se uma aplicação muito abrangente utilizável desde a elaboração de uma ACV simplificada a determinado bem ou serviço até à descrição do desempenho ambiental de uma organização,

realização de *benchmarking* entre sectores, empresas ou países e até a atribuição de rótulos ecológicos a produtos ou serviços prestados.

De forma geral, o cálculo de cada um dos indicadores *EcoBlok* é concretizado através da equação 3.1, abaixo apresentada:

$$I_i = \sum Q_{ij} * feq_{ij} \quad (\text{Equação 3.1})$$

I_i - Indicador *EcoBlok* i , em unidades equivalentes;

Q_{ij} - quantidade mensurável da variável j para cada indicador i ;

feq_{ij} - factor de equivalência da variável j para cada indicador i .

Os indicadores da metodologia *EcoBlok* abrangem no seu âmbito diferentes tipos de pressões ambientais. O factor de equivalência (feq) tem como principal objectivo ponderar o peso de cada indicador de acordo com a sua significância no ambiente (Melo *et al*, 2010). Os indicadores são igualmente aditivos ao longo da cadeia de valor o que permite a agregação das pressões das diversas fases do ciclo de vida (Lopes, 2014).

Consumo de água (WA)

Unidade - m^3 equivalente;

O presente indicador tem por objectivo conferir um efeito penalizador sobre a extracção de água em recursos hídricos sobre explorados. Assim sendo, os dados relevantes dizem respeito à quantidade real de água consumida (Q_{ij}) e a intensidade de exploração dos recursos no local de onde são extraídos (feq).

Para o indicador extracção da água o feq é calculado através do quociente entre a extracção total de água e o caudal sustentável, ou seja, a quantidade de água utilizável sem prejuízo para a sustentabilidade do recurso.

$$feq = \frac{Q_{\text{extraído}}}{Q_{\text{sustentável}}} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Q extraído - extracção total do recurso (hm^3 /ano);

Q sustentável - caudal utilizável por forma a garantir a sustentabilidade do recurso em termos ambientais (hm^3 /ano).

Valores de feq superiores a 1 indicam que a extracção de água é superior aos limites considerados sustentáveis (Melo *et al*, 2010). Não sendo possível obter dados fidedignos para a variável caudal sustentável, a solução passará por adoptar a equação 3.3, equivalente à anterior.

$$\text{Índice de exploração} = \frac{Q_{\text{extraído}}}{Q_{\text{natural}}} \quad (\text{Equação 3.3})$$

Onde:

Q extraído - extracção total do recurso (hm³/ano);

Q natural - caudal natural de água (hm³/ano).

Um índice de extracção superior a 10% está usualmente, associado a práticas não-sustentáveis de utilização de água (OECD, 2003 citado por Macedo, Sobral e Melo, 2005).

Tabela 3.16 Factores de equivalência para a captação de água (Fonte: adaptado de Melo *et al*, 2010)

Rácio de sustentabilidade	Intensidade de exploração	freq WA
≤1	≤10%	1
>1	>10%	Rácio de sustentabilidade (Q extraído/ Q sustentável)

Consumo de recursos (RE)

Unidade – kg equivalente;

Este indicador *EcoBlok* integra a quantidade de recursos consumidos da sua fonte de extracção primária, estando o valor do freq está relacionado com duração do *stock* e taxa de renovação do recurso. A escolha do freq segue a lógica específica apresentada na Tabela 3.17.

Tabela 3.17 Factores de equivalência para os recursos (Fonte: adaptado de Melo *et al*, 2010)

Duração do <i>stock</i>	freq RE
Recursos com duração de <i>stock</i> de 100 anos ou superior (ex: produtos agrícolas, areia)	1
Recursos com duração de <i>stock</i> inferior a 100 anos (ex: floresta primária, crude, pescado)	100/duração, em anos, do <i>stock</i>
Materiais reciclados ou reutilizados	0

A utilização de um horizonte de 100 anos justifica-se pelo facto de ser suficiente para exceder a esperança de vida da maioria da população, evitar qualquer influência económica pelo efeito de escassez ou simplesmente porque é difícil efectuar previsões para períodos mais longos com os recursos actuais. É igualmente importante referir que se considera como *stock*

existente recursos aptos para exploração legal, viável do ponto de vista económico e aceitável do ponto de vista ambiental (Macedo, Sobral e Melo, 2005).

A duração do *stock* para um certo recurso depende da realidade dos mercados actuais, tecnologia disponível, taxa de extracção do recurso, taxa de formação do recurso, o seu preço ou procura (Melo *et al*, 2010).

Uso do Solo (LU)

Unidade - m².ano equivalente;

Embora o solo não seja um recurso consumido pelas actividades económicas, a sua apropriação pode resultar numa incompatibilização de usos (Getimis *et al*, 2000 citado por Melo *et al*, 2010). Perda de biodiversidade, desregulação dos ciclos hidrológicos ou erosão são algumas das consequências de um uso intensivo do solo que em último caso, pode resultar num permanente estado de degradação do recurso (Van der Voet, 2001 citado por Melo *et al*, 2010).

Para o referido indicador *EcoBlok*, o feq refere-se à área de solo ocupada por uma determinada actividade económica, estando este relacionado com a intensidade de exploração do recurso. Considera-se o valor patrimonial da área de acordo com os serviços ecológicos e ambientais prestados, bem como os seus valores sociais. A atribuição do feq assenta no estabelecimento de três critérios-chave (Melo *et al*, 2010):

- A extensão da área classificada como sendo protegida permite avaliar os serviços ambientais efectuados pelo solo;
- As práticas agrícolas. Se se tratar de um tipo de agricultura que não promova o desgaste e degradação do recurso solo assume-se que a prática é sustentável. Por outro lado, actividades agrícolas que promovam a erosão do solo são penalizadas com um feq mais elevado, visto que este levará mais tempo a recuperar que aquele de o levou ao estado degradado;
- Nível de destruição do solo que considera construções em áreas urbanas, infra-estruturas de transporte ou barragens. O feq é mais severo em casos recentes de destruição de solos de elevada qualidade e menos penalizante para situações mais antigas ou cujos solos não apresentem grande potencial natural ou para desenvolvimento de serviços.

A Tabela 3.18 apresenta os critérios de atribuição do factor de equivalência do uso do solo feq.

Tabela 3.18 Critérios de atribuição do factor de equivalência do uso do solo (Fonte: adaptado de Melo *et al*, 2010)

Intensidade do uso do solo	freq LU
Solo que providência serviços ambientais e culturais, classificado como área protegida;	$0 < \text{freq} < 1$
Solo com ocupação humana sustentável (ex: agricultura permanente tradicional);	1
Solo com más práticas agrícolas (erosão, salinização);	$1 < \text{freq} < 4$
Solo destruído (ex: edifícios, infra-estrutura de transporte ou barragens), anterior a 1972 ou de baixa qualidade;	4
Solo destruído após 1972, dependendo da capacidade de carga e da data de destruição do solo.	$4 < \text{freq} < 10$

Emissão de gases com efeito de estufa (GHG)

Unidades - kg CO₂ equivalente;

Enquanto indicador *EcoBlok*, as emissões de GEE integram a quantidade de gases emitidos e o seu potencial de efeito de estufa, sendo este o freq utilizado. Segue a metodologia desenvolvida pelo *Intergovernmental Panel On Climate Changes* (IPCC, 2001). O dióxido de carbono é o gás com maior relevância no sector de actividade analisado, sobretudo, na fase de operação dos veículos rodoviários. Embora seja o gás com menor potencial de aquecimento global, o CO₂ é o mais abundantemente libertado para a atmosfera. A Tabela 3.19 apresenta os principais gases com efeito de estufa e respectivo potencial de aquecimento global

Tabela 3.19 Potencial de aquecimento global dos principais GEE (Fonte: adaptado de IPCC, 2007)

Gases com Efeito de Estufa	freq GHG
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	21
Óxido de Azoto (N ₂ O)	310
CFC-11	3 800
HFC-23	11 700
Hexafluoreto de enxofre (SF ₆)	23 900

Emissão de poluentes para água e solo (PWL) e poluentes atmosféricos (PA)

Unidades (PA) – kg NO_x equivalente;

Unidades (PWL) – kg N equivalente;

O presente indicador tem como finalidade medir as pressões ambientais sob a forma de emissões de poluentes para os meios hídricos, atmosférico e para o solo.

A eutrofização assume-se como a principal consequência da excessiva poluição hídrica. Por sua vez, a depleção e da camada do ozono e acidificação estão entre as consequências resultantes da libertação de poluentes para a atmosfera. Tais indicadores de pressão ambiental são incluídos com a finalidade de penalizar as actividades económicas que resultem na degradação do ambiente através da perda de habitats, efeitos prejudiciais na fauna, flora e saúde das populações (Macedo, Sobral e Melo, 2005). É importante ter em conta que neste indicador *EcoBlok* não são agregados as emissões de GEE, os quais são responsáveis pelo fenómeno do aquecimento global.

A determinação do factor de equivalência (feq) para as emissões dos poluentes assenta no protocolo de *Pollutant Release and Transfer Register* (PRTR). Os feq são determinados com base nos limiares de emissão reportados no PRTR sendo que, a opção por este regulamento se deve ao facto do mesmo ter em conta o carácter nocivo dos poluentes, dispostos segundo uma hierarquia válida (Melo *et al*, 2010). O cálculo de cada feq é feito dividindo o limiar de referência pelo limiar do poluente em causa.

$$feq_{ij} = \frac{L_{Ref i}}{L_{ij}} \quad \text{Equação 3.4}$$

feq_{ij} - factor de equivalência do poluente j, para o indicador i;

$L_{Ref i}$ - limiar de emissão para o poluente de referência do indicador i;

L_{ij} - limiar de emissão para o poluente j, indicador i.

A equação 3.4 acima apresentada é válida para determinar o factor de equivalência da emissão para água, solo (PWL) e de emissão de poluentes atmosféricos (PA). No caso da poluição hídrica, o azoto total (N) é o poluente de referência utilizado, enquanto o dióxido de azoto (NO₂) serve de referência para o caso de poluição atmosférica.

Emissão de dioxinas e furanos (DF)

Unidade – kg TCDD equivalente;

As emissões de dioxinas e furanos são especialmente relevantes na indústria metalúrgica e operação de veículos rodoviários (EEA, 2014). A norma de emissão Euro V foi a primeira a integrar reduções significativas destes compostos. Estes são compostos persistentes acumuláveis em tecidos biológicos, encontram-se presentes em vários ecossistemas terrestres e marinhos, na atmosfera, em animais e sedimentos. A opção pela abordagem das emissões

de dioxinas e furanos de forma isolada surge da necessidade de averiguar o real perigo que os compostos representam para a saúde pública. De acordo com estudo levados a cabo, a contaminação de mulheres com miligramas de dioxinas e furanos resultou a deformação ou morte dos fetos. As características carcinogénicas, mutagénicas são reconhecidas sendo que a dose letal se estabelece na ordem dos miligramas de emissões destes compostos (Government of Canada, 1990).

Este é um indicador que se encontra em fase de desenvolvimento precoce em relação aos demais incluídos na metodologia *EcoBlok*. Prevê-se uma refinação e homogeneização do indicador DF para futuras aplicações.

4 Resultados e discussão

4.1 Introdução

O presente capítulo destina-se à exposição e reflexão acerca dos resultados obtidos. A apresentação estará dividida pelos dois subsectores analisados, começando pelo transporte pesados de mercadorias. O principal objectivo passa por contabilizar a pegada ecológica de cada uma das classes de transportes e fases do ciclo de vida. Os resultados estão agregados pelos indicadores *EcoBlok*. Apesar das divergências registadas entre os valores calculados para cada fase do ciclo de vida, opta-se por juntar as fases de manufactura, operação (circulação, manutenção e ciclo de vida das infra-estruturas) e fim de vida nas mesmas representações gráficas. Crê-se que a tipologia gráfica adoptada favorece e simplifica a exposição dos resultados, compreensão e comparação dos mesmos.

Posteriormente é efectuada uma análise de sensibilidade, focada na fase de operação, que permitirá compreender a influência de factores como a velocidade, declive ou factor de carga transportado no desempenho ambiental de cada uma das classes de referência.

4.2 Transporte pesado de mercadorias

4.2.1 Indicadores agregados

O transporte de mercadorias é uma actividade complexa, na medida em que exige uma constante adaptação dos veículos utilizados às dimensões, peso e especificidades da carga. O uso de veículos para transporte de peso bruto superior à sua capacidade máxima constitui um factor de risco para a segurança pública e integridade do próprio veículo. Por outro lado a designação de um veículo de capacidade muito superior à necessária traduz-se numa situação prejudicial do ponto de vista logístico. Existe actualmente um alargado conjunto de soluções de transporte capazes proporcionar a melhor solução logística para cada serviço.

A Tabela 4.1 apresenta os valores de pressão por indicador determinado para cada camião da frota nacional em todas as classes de pesos brutos de camiões rígidos. Os valores de pressão advêm da soma das várias fases do ciclo de vida assumidas, estando estes normalizados pela unidade funcional tkm. Para clara assimilação das diferenças verificadas entre diferentes classes é importante ter em conta que cada classe tem a si associados diferentes cargas médias e distâncias percorridas, sendo que a discriminação da informação necessária é feita no Capítulo 3.

4. Resultados e discussão

Tabela 4.1 Pressão ambiental por tkm para cada classe de veículo rígido de mercadorias

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (L eq/tkm)	RE (g eq/tkm)	LU (dm ² .a eq/tkm)	GHG (g CO ₂ eq/tkm)	PA (g NO _x eq/tkm)	DF (µg TCDD eq/tkm)	PWL (g N eq/tkm)
<7,5 t	Pré Euro	5,06	675	1,35	909	36,4	0,54	52,2
	Euro I	4,79	663	1,35	823	31,6	0,50	52,1
	Euro II	4,75	649	1,34	658	30,4	0,41	51,7
	Euro III	3,18	627	1,31	676	31,1	0,48	50,9
	Euro IV	3,21	603	1,28	625	25,6	0,36	50,3
	Euro V	3,05	598	1,28	614	24,4	0,32	50,0
>7,5-12 t	Pré Euro	4,23	567	1,16	750	32,7	0,48	46,2
	Euro I	3,89	510	1,10	664	27,2	0,44	44,5
	Euro II	3,95	532	1,12	693	25,3	0,35	45,2
	Euro III	2,58	511	1,11	670	23,8	0,43	44,6
	Euro IV	2,59	482	1,07	614	20,9	0,32	43,8
	Euro V	2,44	475	1,07	599	20,4	0,27	43,5
>12-14 t	Pré Euro	1,87	304	0,71	406	17,4	0,22	20,7
	Euro I	1,73	279	0,69	365	14,1	0,20	20,0
	Euro II	1,71	272	0,68	353	12,5	0,16	19,8
	Euro III	1,22	280	0,69	367	12,8	0,20	20,0
	Euro IV	1,21	262	0,67	339	11,1	0,15	20,0
	Euro V	1,15	261	0,67	333	10,6	0,13	19,4
>14-20 t	Pré Euro	1,55	252	0,64	322	12,8	0,18	18,3
	Euro I	1,43	232	0,63	283	10,3	0,17	17,7
	Euro II	1,42	229	0,62	276	10,2	0,14	17,6
	Euro III	1,00	231	0,63	282	9,59	0,16	17,7
	Euro IV	0,99	218	0,61	263	8,58	0,12	17,3
	Euro V	0,94	215	0,61	255	7,67	0,11	17,2
>20-26 t	Pré Euro	0,87	232	0,59	299	11,3	0,15	15,0
	Euro I	0,83	218	0,58	270	9,68	0,14	14,9
	Euro II	0,82	215	0,58	265	9,59	0,12	14,8
	Euro III	0,68	219	0,58	272	9,23	0,14	14,6
	Euro IV	0,66	204	0,57	252	8,12	0,11	14,5
	Euro V	0,64	202	0,57	246	7,20	0,09	14,5
>26-28 t	Pré Euro	1,14	198	0,65	230	7,90	0,29	24,8
	Euro I	1,07	190	0,64	209	6,87	0,27	24,5
	Euro II	1,07	188	0,64	203	6,59	0,20	24,5
	Euro III	0,72	189	0,64	208	6,34	0,27	24,5
	Euro IV	0,72	179	0,62	192	5,47	0,18	24,2
	Euro V	0,68	179	0,62	186	4,82	0,15	24,2

4. Resultados e discussão

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (L eq/tkm)	RE (g eq/tkm)	LU (dm ² .a eq/tkm)	GHG (g CO ₂ eq/tkm)	PA (g NO _x eq/tkm)	DF (µg TCDD eq/tkm)	PWL (g N eq/tkm)
>28-32 t	Pré Euro	1,05	191	0,61	232	7,95	0,27	22,3
	Euro I	0,98	184	0,60	212	6,89	0,25	22,1
	Euro II	0,98	183	0,60	209	6,71	0,19	22,1
	Euro III	0,68	184	0,61	214	6,39	0,25	22,1
	Euro IV	0,67	174	0,59	199	5,50	0,17	21,8
	Euro V	0,64	174	0,59	193	4,74	0,14	21,8
>32 t	Pré Euro	1,10	192	0,65	211	6,04	0,27	26,9
	Euro I	1,04	186	0,65	194	5,26	0,25	26,7
	Euro II	1,04	186	0,65	190	5,05	0,19	26,7
	Euro III	0,70	185	0,65	193	5,05	0,25	26,7
	Euro IV	0,68	171	0,63	175	4,13	0,16	26,3
	Euro V	0,65	172	0,63	170	3,54	0,14	26,3
Média		1,67	302	0,77	362	13,1	0,24	27,6

De maneira geral regista-se uma tendência de diminuição das pressões proporcional à evolução tecnológica, formalizada como norma Euro de emissão. Importa, no entanto abordar alguns valores verificados em certas classes de veículos, para as normas Euro II e Euro III que contrariam a evolução das pressões ao longo dos anos. A comparação entre as normas revela a existência de pressões mais elevadas na mais recente, sobretudo nos indicadores GHG, PA e DF. No caso do indicador GHG o agravamento deve-se ao facto dos consumo de combustível em camiões Euro III ser superior ao verificado para a norma imediatamente anterior em determinadas classes. No caso dos indicadores PA e DF, a manufatura tem importância decisiva nas divergências verificadas entre as duas normas. O agravamento de 30% reportado nas emissões de poluentes atmosféricos reportados na manufatura entre 2000 e 2004 está na origem da evolução de pressões registadas. O decréscimo na produção verificada no período temporal referido resultou no declínio do desempenho ambiental de manufatura e montagem final de camiões (Volvo Environmental Group, 2014).

A importância da unidade funcional atribuída na ordem de grandeza dos valores de pressão calculados é destacada diversas vezes ao longo da dissertação. A normalização por tkm surge como a razão pela qual veículos com pesos brutos maiores apresentam menor passivo ambiental, salvo certas excepções. Os veículos com menores factores de carga tendem a apresentar pressões mais elevadas nos vários indicadores. No entanto, os factores limitantes do desempenho ambiental não se limitam à quantidade de carga média transportada por um veículo. A velocidade assume-se como um parâmetro importante, cuja variação afecta directamente a contabilização final de pressões por indicador *EcoBlok*. As especificações de cada classe de transporte pesado rígido condicionam a sua operação em determinados âmbitos geográficos. Em ambiente urbano assume-se que o transporte de mercadorias é assegurado por veículos de dimensões menores, tendo um máximo de 14 t de peso bruto. As características do modo de condução em cidade revelam-se mais penalizadores do ponto de vista ambiental, quando comparadas com o tipo de operação de camiões designados para transporte de mercadorias de longa distância, onde as velocidades médias são substancialmente superiores. Os veículos com 28 t ou superiores destacam-se como sendo os que geram menores pressões sobre o ambiente por tkm e que maior eficiência logística tem dentro deste subsector do transporte pesado.

O desempenho ambiental médio de camiões rígidos de mercadorias em 2013 foi o seguinte: 1,67 L eq./tkm para o indicador WA; 302 g eq./tkm para o indicador RE; 0,77 dm².ano eq./tkm para o indicador LU; 362 g CO₂ eq./tkm para o indicador GHG; 13,1 g NO_x eq./tkm para o indicador PA; 0,24 µg TCDD eq./tkm para o indicador DF e 27,6 g N eq./tkm para o indicador PWL.

Além dos pesados rígidos, também os camiões articulados têm grande importância para o sector económico sob análise. Os resultados exibidos na Tabela 4.2 resultam de igual abordagem aquela realizada anteriormente.

4. Resultados e discussão

Tabela 4.2 Pressão ambiental por tkm para cada classe de veículo articulado de mercadorias

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (L eq/tkm)	RE (g eq/tkm)	LU (dm ² .a eq/tkm)	GHG (g CO ₂ eq/tkm)	PA (g NO _x eq/tkm)	DF (µg TCDD eq/tkm)	PWL (g N eq/tkm)
>14-20 t	Euro I	0,78	212	0,80	262	9,5	0,09	10,4
	Euro II	0,76	206	0,61	251	9,8	0,08	10,2
	Euro III	0,65	207	0,56	255	9,2	0,09	10,3
	Euro IV	0,62	193	0,55	240	8,1	0,07	9,8
	Euro V	0,61	192	0,55	233	7,3	0,07	9,8
>20-28 t	Euro I	0,54	172	0,58	209	7,8	0,09	9,0
	Euro II	0,53	169	0,52	203	7,3	0,08	8,9
	Euro III	0,50	178	0,51	218	7,1	0,09	9,1
	Euro IV	0,45	156	0,49	191	5,8	0,07	8,5
	Euro V	0,45	157	0,49	190	5,4	0,06	8,5
>28-34 t	Pré Euro	0,38	128	0,45	155	5,1	0,06	6,2
	Euro I	0,38	127	0,45	148	4,6	0,06	6,0
	Euro II	0,37	126	0,45	144	4,6	0,05	6,0
	Euro III	0,35	127	0,45	147	4,1	0,06	6,0
	Euro IV	0,43	117	0,43	138	3,7	0,05	5,7
	Euro V	0,32	117	0,43	135	3,2	0,05	5,7
>34-40 t	Pré Euro	0,44	154	0,47	180	5,5	0,07	7,1
	Euro I	0,41	147	0,47	170	4,3	0,06	6,9
	Euro II	0,41	147	0,46	168	4,7	0,06	6,9
	Euro III	0,39	148	0,47	170	4,5	0,06	6,9
	Euro IV	0,36	133	0,45	157	3,8	0,05	6,5
	Euro V	0,35	133	0,45	154	3,4	0,05	6,5
>40-50 t	Pré Euro	0,45	157	0,48	195	5,7	0,07	7,4
	Euro I	0,43	151	0,47	178	4,9	0,07	7,2
	Euro II	0,43	150	0,47	175	4,9	0,06	7,1
	Euro III	0,40	152	0,47	177	4,7	0,07	7,2
	Euro IV	0,37	136	0,46	165	4,0	0,06	6,8
	Euro V	0,37	136	0,46	162	3,5	0,05	6,8
>50-60 t	Pré Euro	0,48	164	0,49	215	6,3	0,08	8,0
	Euro I	0,45	156	0,48	192	5,3	0,07	7,7
	Euro II	0,45	156	0,48	190	5,3	0,07	7,7
	Euro III	0,42	157	0,48	192	5,1	0,07	7,7
	Euro IV	0,39	141	0,46	179	4,3	0,06	7,3
	Euro V	0,39	143	0,46	177	3,9	0,06	7,3
Média		0,46	156	0,50	188	5,6	0,07	7,7

A evolução de grandeza das pressões nos camiões articulados tem, por norma, um comportamento semelhante aos rígidos, ainda que com valores mais reduzidos. Esta redução é justificada pelo facto de os camiões articulados terem uma melhor relação entre capacidade de carga útil e emissões produzidas. Acresce-se o facto de não existir qualquer classe com modo de operação citadino o que leva a uma ligeira melhoria de desempenho. Segundo dados do IMTT e INE não se contabilizaram quaisquer veículos articulados entre as 14 t e as 28 t de peso bruto anteriores a 1992 a operar em Portugal no ano de 2013. A classe 28-34 t sobressai como sendo a que menores pressões ambientais gera por tkm devido ao facto de ser aquela que melhor eficiência de transporte tem. Note-se que as duas classes de maior peso bruto têm uma eficiência de transporte que não permite diluir o acréscimo de emissões determinado pelo peso bruto dos mesmos. Tal facto deve-se, em parte, às elevadas pressões por vkm associadas a estas classes. A exemplo da situação relatada na tabela anterior, também aqui se verifica o agravamento dos indicadores GHG, PA e DF aquando da comparação entre veículos Euro II e Euro III, estando este agravamento relacionado com as razões já apresentadas.

O desempenho ambiental médio para os camiões articulados em 2013, por indicador *EcoBlok*, foi o seguinte: 0,46 L eq./tkm para o indicador WA; 156 g eq./tkm para o indicador RE; 0,50 dm².ano eq./tkm para o indicador LU; 188 g CO₂ eq./tkm para o indicador GHG; 5,6 g NO_x eq./tkm para o indicador PA; 0,07 µg TCDD eq./tkm para o indicador DF e 7,7 g N eq./tkm para o indicador PWL.

Daqui em diante será elaborada uma detalhada análise a cada um dos indicadores de pressões ambientais adoptados. Este exercício permitirá uma melhor percepção de quais as fases de ciclo de vida que maior relevância têm em cada um desses indicadores, visto que as Tabelas 4.1 ou 4.2 constituem apenas uma análise em bruto das pressões totais resultantes do ciclo de vida de cada veículo pesado diferenciada de acordo com o seu peso bruto e ano de fabrico. As mesmas não permitem ao leitor ter uma clara percepção da real expressão que cada estágio do ciclo de vida tem no resultado final de cada indicador ou sequer dos processos responsáveis pela referida expressão.

Do Capítulo 4.2.2 em diante serão debatidas as pressões por indicador e as suas origens. No entanto, e de forma a evitar uma sobrecarga de informação gerada por uma excessiva apresentação de figuras, serão apenas apresentados resultados de três classes de camiões. A escolha das classes foi feita tendo em conta a representatividade das mesmas no sector a nível nacional.

4.2.2 Análise por indicador *EcoBlok*

É crucial para o leitor ter conhecimento do método de cálculo utilizado para normalizar as pressões de acordo com a unidade funcional adoptada, pois esta operação terá grande influência na ordem de grandeza de cada indicador e na distribuição das pressões pelos vários estágios considerados no ciclo de vida de cada unidade.

O cálculo das pressões associadas a cada indicador na fase de manufactura, operação e fim de vida de cada veículo é efectuado de maneira a alocar o valor absoluto por cada tkm realizado por veículo ao longo de todos os anos de operação. Das referidas fases a manufactura e fim de vida apenas ocorrem uma vez na vida útil, assim como o ICV da manutenção que quantifica valores que resultam da soma de todas as actividades de manutenção do veículo.

Na operação do veículo, especificamente no processo de circulação, pretende-se avaliar o desempenho ambiental tendo em conta a carga média transportada, isto é, a eficiência do transporte da carga. Assim sendo, a metodologia de cálculo passa por dividir o número total de tkm realizados por cada tipo de veículo pelo total da frota activa em 2013. Admite-se que o método utilizado gera uma divisão equitativa do total de transporte por cada veículo de cada classe, algo que não corresponde à realidade. Todavia, a adopção deste pressuposto resulta da falta de informação mais precisa e do facto de que apenas são contabilizados veículos tidos como activos no ano de referência.

Consumo de água (WA)

Sendo um dos indicadores chave da metodologia *EcoBlok*, o consumo de água ao longo da vida útil de um veículo pesado de mercadorias atinge valores substanciais. É fulcral para a total compreensão e justificação dos resultados obtidos ter sempre presente os diversos processos incluídos em cada fase do ciclo de vida.

Para a manufactura de cada unidade é necessária água ao longo das operações de extracção dos vários componentes que fazem parte da estrutura do veículo. O petróleo, recurso indispensável na produção de plásticos e pneus, requer grandes quantidades de água para a sua refinação. Também os processos industriais têm grande relevância neste indicador. As linhas de produção de peças e montagem final de automóveis consomem este recurso para a concretização de tratamentos químicos, actividades de lavagem ou simplesmente para o normal funcionamento do complexo industrial (Sabença, 2013). O consumo de electricidade, cuja produção utiliza consideráveis volumes do recurso, tem de ser tido em conta na contabilização da manufactura, visto ter impacte sobre o valor de pressão calculado para o presente indicador.

Ao longo da vida útil de um veículo pesado, a sua operação requer a utilização de vários metros cúbicos de recursos hídricos de modo a assegurar o seu correcto funcionamento. O ciclo de vida do combustível está na base dos elevados valores de água consumida por tkm registados para este estágio do ciclo de vida. Num plano secundário estão os processos de manutenção do veículo ou ciclo de vida das infra-estruturas rodoviárias. O fim de vida de um camião resume-se ao processo de desmantelamento do veículo.

4. Resultados e discussão

A Figura 4.1 expõe o volume de água consumido ao longo das fases de manufatura, operação e fim de vida de cada uma das classes de mercadorias que melhor reflectem a realidade nacional do sector.

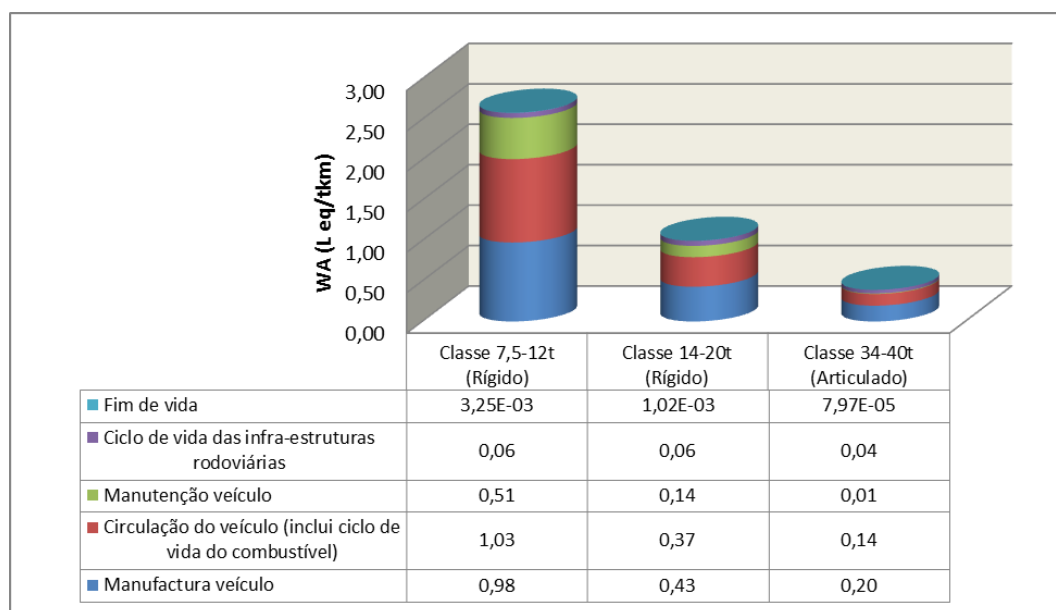


Figura 4.1 Consumo de água ao longo do ciclo de vida em pesados de mercadorias

A Figura 4.1 destaca a classe de peso bruto entre as 7,5 t e as 12 t como a que mais água consome em todas as fases contabilizadas. Ainda que pareça uma situação contraditória, na medida em que a classe de menores dimensões é a que mais água consome, o factor de normalização influencia valores de forma decisiva. Para esta classe a carga média em 2013 foi de 1,3 t, aproximadamente. Na outra classe de referência constituída por camiões rígidos, cada veículo transportou em média 3,7 t. Quanto à classe articulada, com maior capacidade de carga, registou-se o transporte de uma média de, sensivelmente, 15 t revelando-se a mais eficaz de entre as apresentadas nesta secção. Por último, importa destacar a fase de operação como sendo a que maiores pressões gera ao longo do ciclo de vida de cada camião. Desta fase fazem parte os processos de circulação e manutenção do veículo, bem como o ciclo de vida das infra-estruturas rodoviárias.

Uma das principais vantagens da elaboração de uma abordagem ACV no estudo do desempenho ambiental de determinado produto ou sector está na percepção que a análise oferece em relação às fases mais penalizadoras do ciclo de vida. A anterior figura faz precisamente esta demonstração para o indicador de pressão WA. Entre as três classes representativas do transporte pesado de mercadorias é evidente a preponderância do processo de condução perante qualquer um dos restantes processos incluídos.

As classes representantes de veículos rígidos têm uma distribuição semelhante, sendo os processos de manufatura e manutenção os que revelam maior intensidade de recursos

hídricos consumidos. Processos relacionados com as infra-estruturas rodoviárias e desmantelamento do veículo têm uma preponderância bastante mais reduzida. No caso da classe articulada, a manufactura é a fase que maior volume de água consome em todo o ciclo de vida do veículo.

Verifica-se que a manufactura apresenta maior relevância para o passivo ambiental global da classe articulada quando comparada com as restantes. Esta situação deve-se à maior eficiência de transporte de mercadorias verificada nesta classe. Deste modo as pressões por tkm são menores na operação, ao ponto de os processos incluídos na manufactura serem mais penalizadores para os recursos hídricos.

Consumo de recursos (RE)

O sector automóvel tem um impacte bastante significativo na exploração de recursos devido ao esforço que tem vindo a ser feito pelos produtores para dar resposta à crescente procura por este produto e subprodutos. A metodologia *EcoBlok* através da atribuição de factores de equivalência contribui para a distinção verificada entre as pressões de manufactura e operação de cada classe. No presente indicador os factores de equivalência são especialmente penalizadores sobre recursos escassos. A operação do veículo aloca as pressões inerentes à extracção de petróleo, recurso considerado não renovável e que associado ao elevado consumo de combustível por parte dos veículos tem influência determinante no elevado valor calculado para este indicador.

A Figura 4.2 reforça a linha de raciocínio apresentada anteriormente na qual uma gestão indevida da capacidade de carga de cada veículo promove um aumento do passivo ambiental associado a cada viagem efectuada. Os dados obtidos através do Instituto Nacional de Estatísticas demonstram que a frota nacional necessita, em média, de realizar duas vezes mais deslocações para movimentar uma quantidade de mercadorias que seria possível movimentar numa única viagem, caso se praticasse uma correcta gestão logística. É importante ter em conta o contexto no qual os veículos das três classes presentemente avaliadas operam. As pressões das unidades da classe 7,5-12 t foram contabilizadas em ambiente citadino, no qual as constantes variações de velocidade promovem um considerável agravamento do desempenho ambiental, face à condução em estrada. As restantes classes são modeladas para operação a velocidades que permitem uma redução das emissões. Note-se que a fase de fim de vida mantém a tendência enquanto etapa menos influente nos impactes associados aos produtos analisados, sendo o seu consumo de recursos significativamente inferior às restantes etapas.

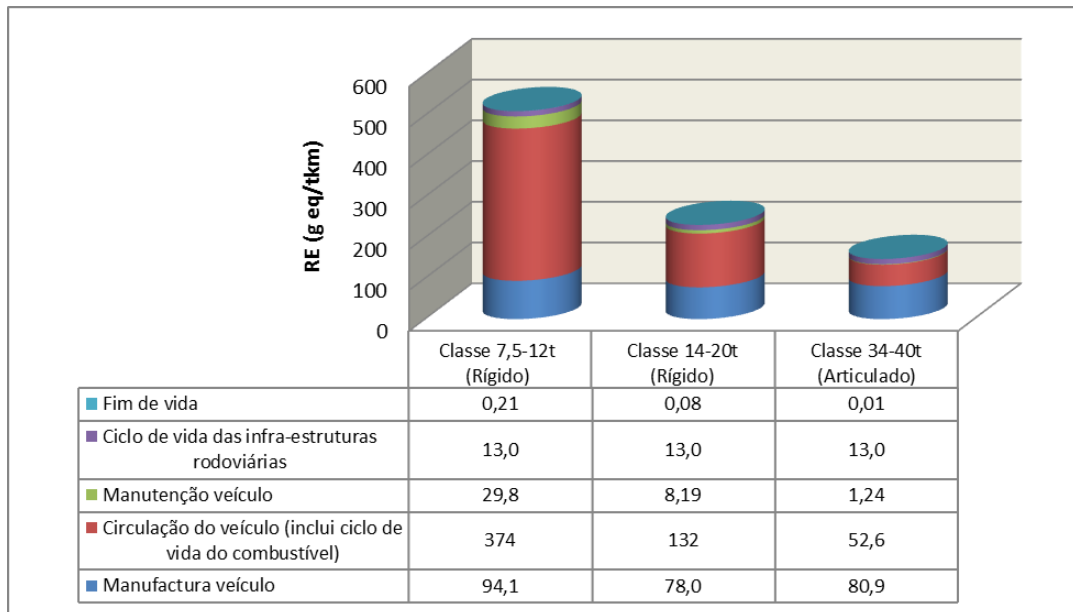


Figura 4.2 Consumo de recursos ao longo do ciclo de vida em pesados de mercadorias

A Figura 4.2 vem reforçar a análise feita acerca do consumo de recursos em pesados de mercadorias. A circulação dos camiões assume uma predominância clara face aos restantes processos nos camiões rígidos, mas não no articulado. O processo de importação dos veículos, desde o local de montagem final até ao destino, contribui decisivamente para uma maior expressão da manufatura em todos os indicadores. De referir, por fim, que a fase de fim de vida caracterizada pela separação dos materiais ao veículo e envio para o sistema de tratamento mais adequado, não chega a 1 % do total das pressões calculadas em qualquer um dos veículos avaliados.

Uso dos solos (LU)

Este indicador permite avaliar o desempenho ambiental da cadeia de valor do produto através da contabilização da área de terreno ocupado, bem como a averiguação do seu valor natural e patrimonial. A ocupação de solos considerados importantes do ponto de vista ecológico resulta na atribuição de um factor de equivalência mais severo.

Para este indicador específico é novamente a fase de operação que maiores pressões gera. As maiores contribuições derivam da circulação e do ciclo de vida das infra-estruturas rodoviárias. No caso da circulação o valor está directamente relacionado com os elevados consumos de gasóleo verificados, sobretudo em percursos citadinos. Tendo em consideração que todo o ciclo de vida do combustível está contabilizado nesta fase, é às infra-estruturas existentes nos locais de extracção, vulgos campos petrolíferos e aos locais refinação que se atribui grande parte dos solos utilizados, chegando a muitas vezes a vários hectares (Lopes, 2014).

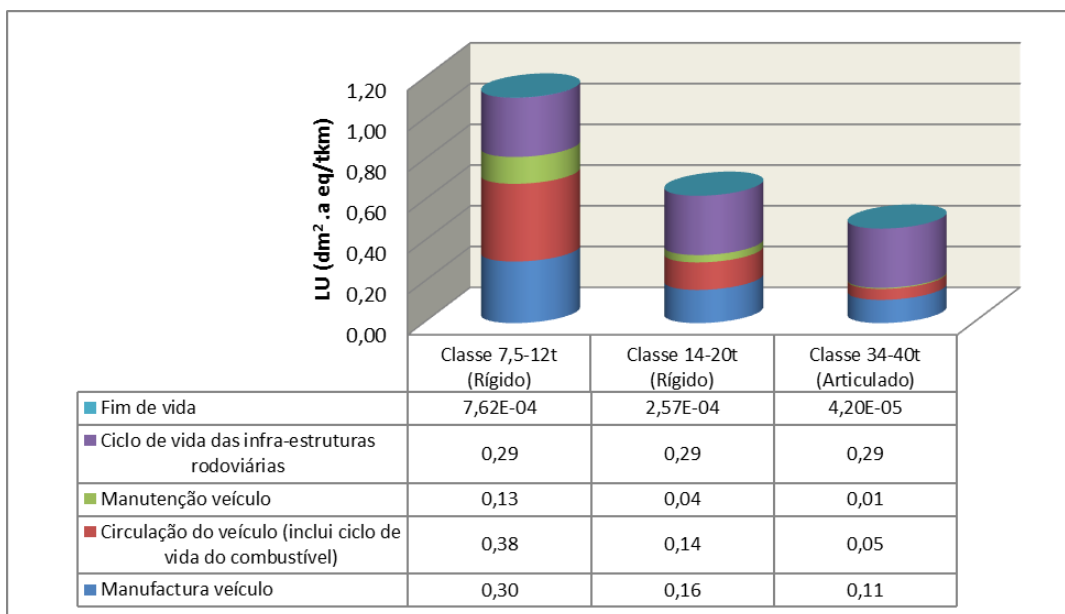


Figura 4.3 Uso dos solos ao longo do ciclo de vida em pesados de mercadorias

O ciclo de vidas das infra-estruturas rodoviárias inclui pontes, túneis e toda a extensão de rodovia portuguesa. Considerando que Portugal possuía em 2011, sensivelmente, 80 000 km de estradas que anteriormente constituíam terrenos e solos com importantes funções ecológicas é então compreensível a relevância deste processo ao longo da vida útil do veículo. No caso da classe articulada, cujos veículos transportam cargas médias muito superiores face às restantes classes aqui consideradas, o seu superior desempenho por tkm diminui as necessidades de *inputs* para a condução. O referido factor juntamente com as particularidades inerentes ao cálculo das pressões geradas pelas estradas e estruturas equivalentes explícitas no presente capítulo, justificam o destaque face aos restantes processos.

Em relação à manufatura, o uso do solo deve-se à apropriação destes para actividades de extracção de recursos através da implementação de minas a céu aberto com vários hectares e para os extensos complexos industriais necessários ao longo da cadeia de valor do produto final sob análise.

Emissão de gases com efeito de estufa (GHG)

O indicador referente a emissões de GEE é muito significativo para sector dos transportes rodoviários. Um veículo rígido de percurso citadino chega a emitir 0,55 kg CO₂ eq./tkm cumprida. As emissões de CO₂ em automóveis são directamente proporcionais ao consumo de combustível, que por sua vez está dependente das velocidades praticadas, carga transportada, topografia do percurso ou tecnologia do veículo. A importância de um transporte eficiente, independentemente da dimensões e peso bruto do veículo está

4. Resultados e discussão

bem explícito na Figura 4.4. O camião articulado com um peso bruto bastante superior ao rígido de 7,5 t emite menos 0,47 kg CO₂ eq./tkm percorrida.

Spielmann e Scholz (2005), através de um estudo realizado ao desempenho do transporte intermodal de mercadorias, relatam um desempenho de um camião com 40 t de peso bruto cerca de 55% a 65% superior, por tkm, face a um veículo de 16 t brutas. Fica patente neste estudo, que compara o transporte em território europeu, uma tendência de movimentação de mercadorias semelhante à verificada em Portugal.

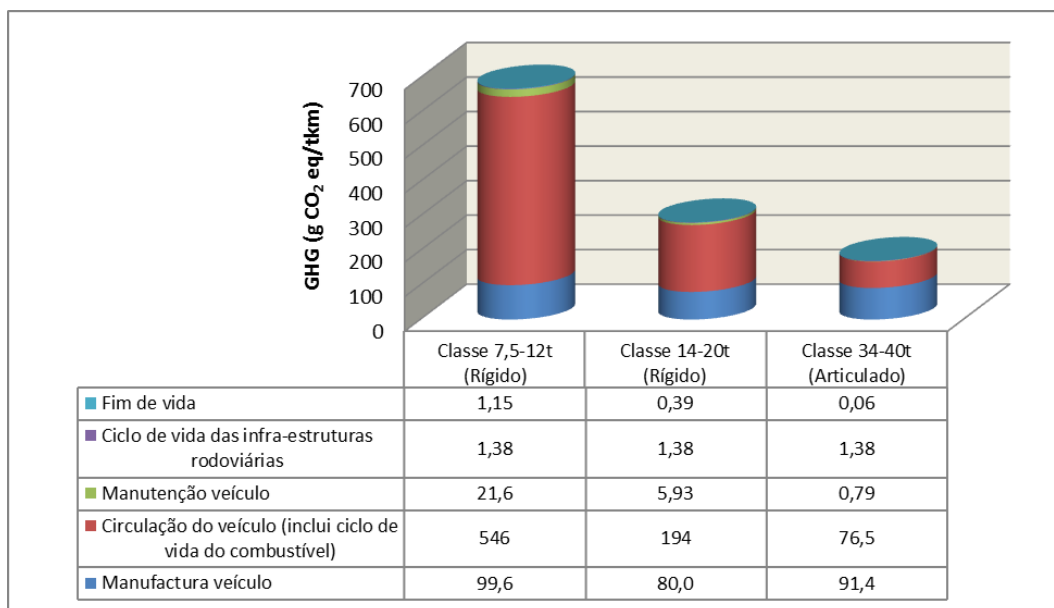


Figura 4.4 Emissões de gases com efeito de estufa ao longo do ciclo de vida em pesados de mercadorias

A manufatura tem emissões significativas nos processos de produção de materiais e componentes integrantes da estrutura de um automóvel pesado. O consumo e produção de electricidade e combustíveis são os factores que mais contribuem para as emissões carbónicas nesta fase.

O presente indicador tem grandes discrepâncias entre as distintas fases do ciclo de vida consideradas na ACV de cada veículo. Spielmann e Scholz (2005) concluíram que, em média, a fase de operação de um camião de mercadorias representa sensivelmente 85% do total de emissões de GEE ao longo do seu ciclo de vida. A análise de ciclo de vida levada a cabo pelos referidos autores teve como base os inventários de ciclo de vida da base de dados *Ecoinvent* totalmente adaptados ao contexto europeu.

A circulação dos veículos constitui mais de 50% das emissões em qualquer uma dos veículos rígidos aqui analisados. Porém, o veículo articulado volta a apresentar um padrão de distribuição das emissões pelas fases do ciclo de vida díspar, com maior relevância da fase de

manufatura. Mais o vez o efeito de normalização pela unidade funcional tkm revela-se decisivo na expressão dos valores.

Independentemente da evolução na indústria automóvel ao longo das últimas décadas, com destaque para o estabelecimento de norma de emissão, continua a ser a fase de operação dos veículos a que mais contribui para o aquecimento global.

Emissão de poluentes atmosféricos (PA)

O indicador PA reforça a tendência anteriormente verificada e que estabelece a fase de operação como a mais significativa em termos de emissões por tkm.

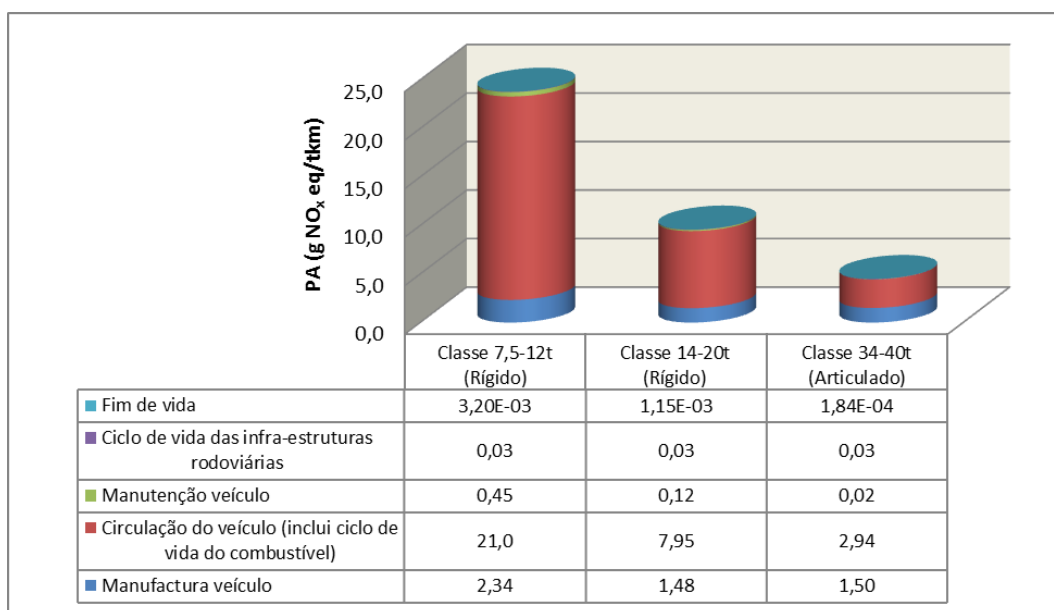


Figura 4.5 Emissões de poluentes atmosféricos ao longo do ciclo de vida em pesados de mercadorias

O ciclo de vida do combustível tem um peso determinante, sendo este exponenciado em veículos que apresentem um maior consumo por quilómetro percorrido. Tal como se verifica nas emissões de GEE, a velocidade de operação, carga e tecnologia do veículo são factores limitantes das emissões. Importa reforçar que pertencem à norma Euro III os veículos utilizados nos ICV das classes aqui avaliadas, sendo esta a norma de emissão mais comum no actual parque automóvel nacional. Também as emissões associadas à exploração dos recursos petrolíferos, transporte e refinação devem ser tidas nesta análise. Os processos relativos às infra-estruturas rodoviárias e fim de vida do veículo são residuais em relação ao total da quantidade de NO_x eq./tkm emitida.

Fazendo novamente comparação entre o estudo desenvolvido por Spielmann e Scholz (2005) e o corrente são visíveis paralelismos quanto aos resultados obtidos para os poluentes atmosféricos. Ambos os estudos indicam a fase de operação como a grande responsável pelas

emissões de poluentes atmosféricos, independentemente da metodologia adoptada e factores de equivalência atribuídos.

A manufactura é o segundo estágio do ciclo de vida com maior preponderância no presente indicador. Uma razão para a sua relevância reside nos processos produtivos que requerem elevadas quantidades de electricidade e combustíveis. No caso da electricidade, importa ter em conta a proveniência da mesma. Na presente dissertação foi considerado o *mix* energético pré definido pelo *Ecoinvent*, que reflecte um cenário de produção europeu. Destacam-se as emissões de NO_x, CO, COVNM ou SO₂ e, particularmente, a libertação de metais pesados. Emissões de Z_n, C_u, A_s ou H_g estão fortemente associados aos processos de produção de aço e alumínio, dois elementos utilizados em grandes quantidades na constituição de um veículo pesado.

Emissão de dioxinas e furanos (DF)

O presente indicador revela uma distribuição das pressões por fase do ciclo de vida distinta dos restantes. É a manufactura de camiões que maior quantidade de dioxinas e furanos emite por tkm percorrida em qualquer uma das classes analisadas.

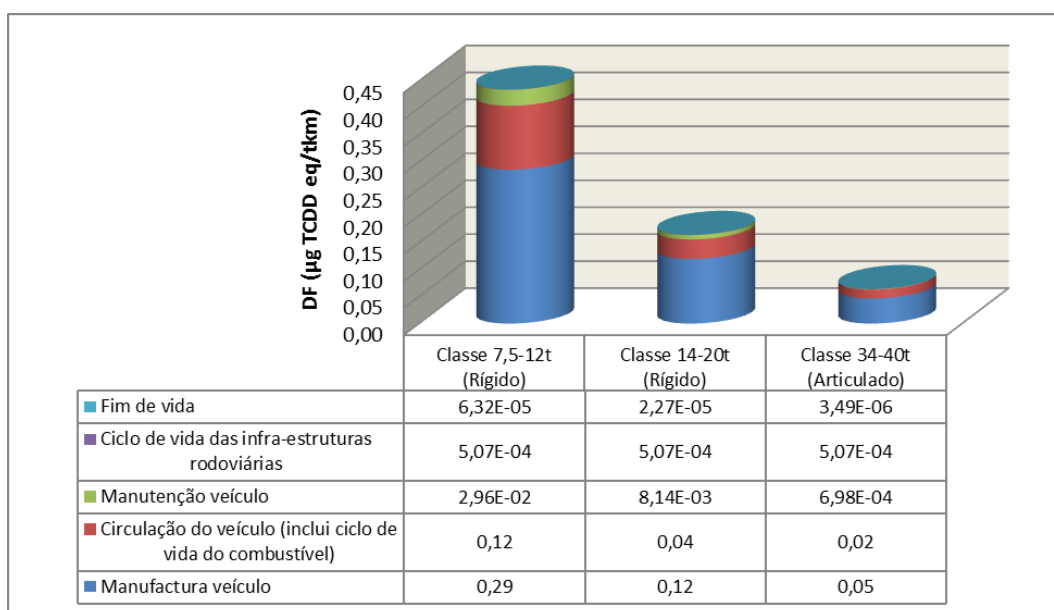


Figura 4.6 Emissões de dioxinas e furanos ao longo do ciclo de vida em pesados de mercadorias

O peso da manufactura deve-se aos processos industriais que decorrem a montante da operação do veículo, com destaque para a produção dos vários metais que integram a sua constituição. A quantificação de *inputs* de electricidade e combustíveis aplicados nos processos produtivos tem igualmente influência nos valores quantificados dependendo, no entanto, do *mix* de produção das referidas fontes energéticas. De acordo com os inventários produzidos a

manufatura é responsável por mais de 65% do total de emissões dos referidos compostos, sendo a operação a segunda fase de maior relevância.

A queima de combustível decorrente da circulação dos camiões em processo de transporte de mercadorias é a principal fonte de dioxinas e furanos relativa ao estágio do ciclo de vida de operação. A manutenção surge como o terceiro processo que maior quantidade de dioxinas e furanos emite, a grande maioria associada ao consumo de fontes energéticas inerentes às múltiplas actividades de manutenção que têm lugar ao longo da vida útil de um camião.

A análise das emissões de dioxinas e furanos enquanto indicador *EcoBlok* independente deriva da importância destes compostos para a saúde pública. O carácter cancerígeno ou teratogénico destes compostos tornam-nos reais factores de risco pelo que é intenção da metodologia de avaliação de impactes quantificar de forma individualizada as suas emissões e estudar o efeito das mesmas na saúde humana.

Emissão de poluentes para água e solo (PWL)

O indicador PWL é fulcral para avaliação dos danos causados pelos diversos processos em ecossistemas terrestres e aquáticos.

A Figura 4.7 referente às emissões de azoto equivalente por fase do ciclo de vida evidencia a importância que a carga média transportada por quilómetro tem na normalização das pressões em função da unidade funcional estabelecida. Na fase de manufatura as emissões de poluentes do solo e água resultam dos vários processos industriais que ocorrem ao longo da cadeia de valor, advindo dos mesmos volumes significativos de águas residuais contendo conteúdos assinaláveis de azoto, fósforo e várias espécies de metais pesados. A eutrofização dos meios hídricos alvos das descargas dos efluentes e contaminação dos seres vivos por bioampliação são algumas consequências de maior relevo. Também processos de produção de electricidade, sobretudo a partir fontes fósseis, tem relevo degradação dos ecossistemas (Higino, 2014).

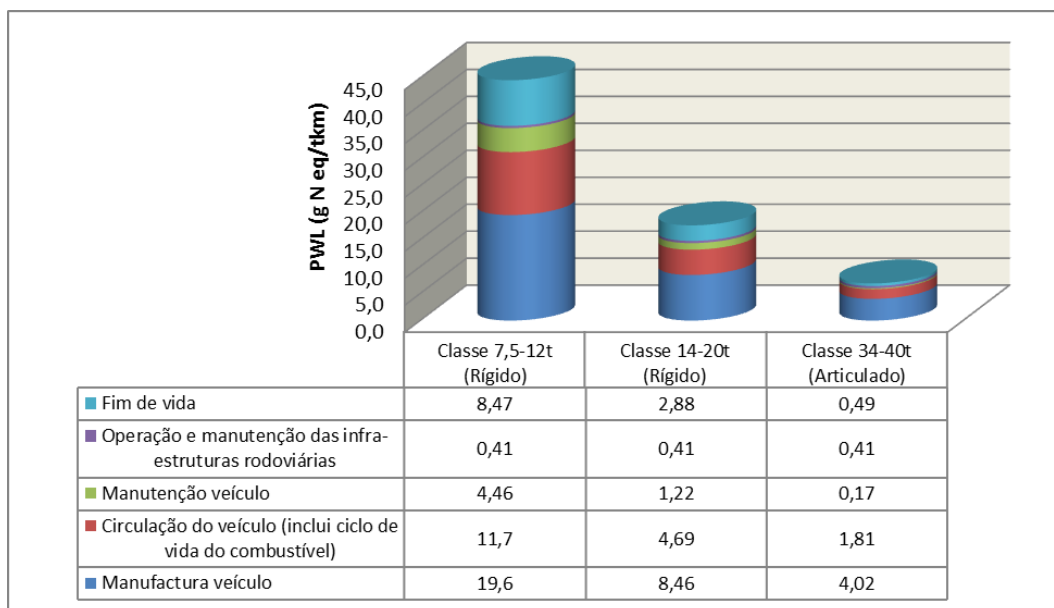


Figura 4.7 Emissões para a água e solos ao longo do ciclo de vida em pesados de mercadorias

A circulação de carga por parte de um camião é também uma fonte de poluição para os receptores mencionados. Existem emissões *upstream* associadas ao combustível, sobretudo no seu processo de extracção do reservatório natural, produção e sua refinação, muitas vezes realizada em território nacional (Lopes, 2014). O funcionamento do próprio camião tem a si inerentes emissões de Z_n , P_b , A_s ou C_r para o solo ou para a água sob a forma iónica. Na origem destas emissões está a abrasão dos pneus gerada pela interacção com o piso durante o movimento e com os freios, durante as travagens (Spielmann *et al.*, 2007).

Para o presente indicador a fase de manufactura do veículo é a mais relevante para os valores de pressões obtidos. A circulação e fim de vida dos veículos têm valores de emissão próximos. O PWL é o indicador que contabiliza pressões mais significativas provenientes do desmantelamento do veículo, após termo da sua vida útil. Os processos de valorização energética pelo qual passam pneus, plásticos ou até o envio para aterro de materiais sem qualquer uso estão na génese das emissões alusivas ao fim de vida dos veículos de referência. Importa referir que apesar de o processo de reciclagem contabilizar emissões para o indicador PWL, as mesmas são anuladas pelo factor de equivalência atribuído, visto que o processo permite o reaproveitamento dos materiais e evita a extracção de maiores quantidades de matérias-primas.

Em geral destacam-se os veículos articulados com pesos brutos a variar entre as 34 t e as 40 t são os que melhor desempenho ambiental tem na globalidade dos veículos estudados ao longo do Capítulo 4.2, devendo-se este facto à melhor gestão que se verifica para a referida classe.

4.2.3 Pressão total ao longo da vida útil

O presente capítulo destina-se a elaborar uma contabilização do total de pressões geradas pela actividade de camiões ao longo da sua vida útil. A Tabela 4.3 contém os valores totais de pressão gerada por cada veículo pertencente a cada uma das classes de peso bruto estudadas ao longo dos 16 anos de vida útil, no total do seu ciclo de vida. Importa ter em conta que dada a imprevisibilidade de operação em anos futuros, considerou-se o valor de tkm determinado para 2013 como imutável ao longo dos 16 anos. Deste pressuposto resultará que cada veículo apresenta um desempenho de quilómetros e carga média anual semelhante ao longo dos vários anos de actividade.

A análise aos resultados apresentados na Tabela 4.3 deverá ter em conta dois factores importantes, a utilização anual dos veículos de cada classe e a ordem de grandeza das pressões, dependentes do ano de fabrico e dimensões do veículo. As classes destacadas anteriormente pela sua maior eficiência de transporte não serão forçosamente as que menor pressão geram ao longo da sua vida útil. Importa ter em conta a evolução de cada um dos indicadores *EcoBlok* em cada classe. De facto, a pegada ecológica dos indicadores WA, RE, GHG, PA ou PWL tende a aumentar de forma directamente proporcional ao aumento da actividade anual, evoluindo a pressão com a mudança de norma Euro. Para tal contribui decisivamente a fase de operação na qual se insere o ciclo de vida do combustível. O maior consumo de combustível por vkm percorrido verificado promove o agravamento das pressões referentes aos indicadores anteriormente mencionados.

Conforme foi possível observar ao longo do Capítulo 4.2.2, a emissão de GEE, o consumo de recursos ou a emissão de poluentes atmosféricos são indicadores *EcoBlok* para os quais a fase de operação tem importância decisiva. Assim sendo, é de esperar que nas classes para as quais se obteve maior índice de actividade se verifique uma maior expressão destes indicadores face a classes menos activas, enquanto os restantes indicadores apresentem diferenças menos acentuadas. As restantes fases do ciclo de vida tem variações mais discretas entre as múltiplas classes.

4. Resultados e discussão

Tabela 4.3 Pressão total ao longo da vida útil de cada classe de veículos rígidos

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (dam ³ eq)	RE (t eq)	LU (dam ² .a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (g TCDD eq)	PWL (t N eq)
<7,5 t	Pré Euro	1,7	201	103,8	232	10,1	0,16	17,6
	Euro I	1,6	197	103,9	203	8,5	0,15	17,6
	Euro II	1,6	192	103,5	195	8,1	0,12	17,5
	Euro III	1,1	185	102,6	201	8,3	0,14	17,2
	Euro IV	1,1	177	101,6	184	6,4	0,10	17,0
	Euro V	1,0	175	101,4	180	6,0	0,09	16,9
>7,5-12 t	Pré Euro	2,2	300	148,4	343	16,9	0,23	23,4
	Euro I	2,1	272	145,8	301	14,5	0,21	22,5
	Euro II	2,1	283	146,9	316	13,6	0,17	22,9
	Euro III	1,4	272	145,9	303	12,8	0,21	22,6
	Euro IV	1,4	260	144,5	278	11,6	0,15	22,2
	Euro V	1,4	256	144,1	271	11,4	0,13	22,1
>12-14 t	Pré Euro	2,8	424	232,8	475	22,0	0,28	28,6
	Euro I	2,6	389	229,6	425	18,3	0,26	27,6
	Euro II	2,6	380	228,8	410	16,1	0,21	27,3
	Euro III	1,8	391	229,9	427	16,3	0,26	27,6
	Euro IV	1,8	372	227,7	397	14,6	0,19	27,1
	Euro V	1,8	369	227,4	390	14,2	0,16	27,0
>14-20 t	Pré Euro	3,0	427	291,5	444	19,9	0,28	31,1
	Euro I	2,7	392	288,2	392	16,2	0,26	30,1
	Euro II	2,7	386	287,7	383	15,9	0,20	29,9
	Euro III	2,0	391	288,2	392	15,5	0,25	30,1
	Euro IV	2,0	380	286,7	366	14,1	0,18	29,9
	Euro V	1,9	373	286,0	354	12,8	0,16	29,6
>20-26 t	Pré Euro	3,2	722	553,2	717	31,1	0,42	45,8
	Euro I	3,0	674	548,7	647	26,7	0,38	44,3
	Euro II	3,0	665	548,0	634	26,3	0,30	44,1
	Euro III	2,6	679	549,4	656	26,4	0,38	44,6
	Euro IV	2,5	654	546,4	607	23,6	0,28	44,0
	Euro V	2,5	645	545,6	591	21,2	0,24	43,7
>26-28 t	Pré Euro	3,8	688	1 177,0	265	10,2	0,41	48,0
	Euro I	3,7	676	1 176,0	247	9,1	0,37	47,7
	Euro II	3,7	673	1 175,7	240	8,6	0,28	47,6
	Euro III	3,2	674	1 175,9	245	8,8	0,37	47,7
	Euro IV	3,2	671	1 175,4	230	7,9	0,25	47,6
	Euro V	3,2	669	1 175,2	223	7,2	0,20	47,5

4. Resultados e discussão

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (dam ³ eq)	RE (t eq)	LU (dam ² .a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (g TCDD eq)	PWL (t N eq)
>28-32 t	Pré Euro	3,6	624	938,6	312	12,7	0,49	50,2
	Euro I	3,4	609	937,3	289	11,1	0,45	49,8
	Euro II	3,4	607	937,2	285	10,7	0,33	49,7
	Euro III	2,8	609	937,5	291	10,9	0,45	49,8
	Euro IV	2,9	605	936,9	273	9,7	0,30	49,8
	Euro V	2,8	603	936,6	264	8,8	0,24	49,6
>32 t	Pré Euro	4,7	833	1 500,8	264	9,3	0,46	63,8
	Euro I	4,6	823	1 499,9	249	8,4	0,42	63,5
	Euro II	4,6	822	1 499,9	245	7,9	0,31	63,5
	Euro III	4,0	821	1 500,0	248	8,2	0,42	63,5
	Euro IV	4,0	818	1 499,4	229	7,2	0,28	63,4
	Euro V	3,9	817	1 499,2	223	6,5	0,23	63,4

Destaca-se a classe entre as 20 t e as 26 t de peso bruto como sendo a que maior pressão ambiental revela ao longo da vida útil. Os camiões integrantes desta classe percorrem mais de 45 000 km por ano, em média. A eficiência de transporte inferior a 50% também contribui para o aumento dos valores inventariados na referida classe. Em oposição, é a classe de camiões rígidos superiores a 32 t a menos utilizada para o transporte de mercadorias em Portugal. Cada veículo percorre, em média, menos de 6 500 km por ano e tem uma eficiência de transporte de próxima dos 85%. Pelas razões referidas, as suas emissões de gases com efeito de estufa ao nível da classe de menor peso bruto. O Anexo A2 apresenta os valores de pressão anuais calculados e que servem de base para a determinação das pressões totais na vida útil dos camiões de cada classe estudada.

Igual análise é estabelecida para as classes de camiões articulados, também eles com grande relevância no sector de actividade estudado. A Tabela 4.4 diz respeito às pressões ambientais que resultam da operação dos camiões articulados em Portugal ao longo da sua vida útil. A contabilização das pressões para cada um dos indicadores surge de uma abordagem semelhante à utilizada na Tabela 4.3 apresentada anteriormente.

A tendência geral verificada ao longo da tabela é de um aumento das pressões proporcional ao aumento do peso bruto do camião, bem como uma pegada ecológica sucessivamente menor ao longo das normas Euro. Em todas as classes analisadas registou-se grande actividade por parte dos veículos, tendo os veículos articulados percorrido distâncias médias superiores a 90 000 km anuais. Este facto, por si só, justifica as grandes quantidades de CO₂ eq. emitidas por cada camião ao longo dos 16 anos de vida útil considerados. À excepção do indicador DF, é a fase de operação, influenciada pelo ciclo de vida do combustível, que maior relevância tem na grandeza dos valores determinados. Tendo em conta que o consumo de combustível por vkm está directamente relacionado com o peso bruto do veículo e que todas as classes asseguram fluxos de mercadorias consideráveis, compreende-se, não só os elevados valores de pressões calculados em cada indicador, como também o aumento destas por cada classe de peso bruto.

A classe entre as 34 t e as 40 t de peso bruto regista maior actividade por veículo, com uma média superior a 107 000 km percorridos anualmente em tarefas de transporte de mercadorias. Para a referida classe determinou-se uma eficiência de carga de 76,2%.

4. Resultados e discussão

Tabela 4.4 Pressão total ao longo da vida útil de cada classe de veículos articulados

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (dam ³ eq)	RE (t eq)	LU (dam ² .a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (g TCDD eq)	PWL (t N eq)
>14-20 t	Euro I	5,2	1 258	991	1 276	53,5	0,42	60,0
	Euro II	5,1	1 242	990	1 251	52,8	0,36	59,5
	Euro III	4,4	1 261	992	1 281	51,4	0,42	60,1
	Euro IV	4,3	1 219	986	1 204	47,1	0,34	59,4
	Euro V	4,3	1 219	986	1 202	47,0	0,31	59,4
>20-28 t	Euro I	4,9	1 372	1 125	1 342	61,7	0,59	71,9
	Euro II	4,9	1 353	1 123	1 312	54,7	0,49	71,4
	Euro III	4,6	1 440	1 131	1 441	57,2	0,62	74,1
	Euro IV	4,3	1 304	1 117	1 228	47,6	0,45	70,4
	Euro V	4,2	1 311	1 118	1 233	44,5	0,41	70,6
>28-34 t	Pré Euro	6,2	1 719	1 562	1 581	69,0	0,75	88,2
	Euro I	6,1	1 711	1 561	1 567	65,1	0,71	88,0
	Euro II	6,1	1 688	1 559	1 532	63,6	0,59	87,3
	Euro III	4,3	1 712	1 562	1 571	63,1	0,71	88,1
	Euro IV	4,3	1 669	1 556	1 489	57,4	0,55	87,3
	Euro V	4,1	1 644	1 554	1 447	51,7	0,49	86,4
>34-40 t	Pré Euro	8,3	2 409	2 039	2 117	95,3	0,91	116,9
	Euro I	7,7	2 252	2 025	2 090	81,4	0,82	112,2
	Euro II	7,7	2 242	2 024	2 074	80,7	0,71	111,9
	Euro III	7,1	2 263	2 026	2 111	79,5	0,82	112,6
	Euro IV	7,1	2 185	2 016	1 976	70,7	0,66	111,0
	Euro V	6,8	2 156	2 013	1 927	63,7	0,60	110,0
>40-50 t	Pré Euro	8,7	2 545	2 365	2 314	95,0	0,94	123,2
	Euro I	8,3	2 402	2 352	2 108	81,8	0,85	118,9
	Euro II	8,2	2 371	2 349	2 061	80,3	0,73	117,9
	Euro III	7,6	2 403	2 352	2 111	79,6	0,85	119,0
	Euro IV	7,5	2 334	2 343	1 994	71,3	0,69	117,7
	Euro V	7,4	2 099	2 341	1 950	64,4	0,62	116,8
>50-60 t	Pré Euro	10,2	2 938	2 868	2 589	106,8	1,12	144,6
	Euro I	9,5	2 742	2 850	2 307	90,3	1,00	138,7
	Euro II	9,5	2 730	2 849	2 286	89,5	0,85	138,4
	Euro III	8,8	2 752	2 851	2 323	88,1	1,00	139,1
	Euro IV	8,6	2 673	2 841	2 186	78,6	0,80	137,5
	Euro V	8,6	2 681	2 842	2 189	72,7	0,73	137,6

Considera-se relevante destacar a diferença que se verifica ao nível da ordem de grandeza dos valores de pressões determinados entre as Tabelas 4.3 e 4.4. As distâncias médias percorridas por cada tipo de camião são o factor crucial para a discrepância encontrada, sendo que os camiões articulados registam uma actividade média anual substancialmente superior aos veículos rígidos.

4.2.4 Pressão anual para o total da frota

A presente análise foca-se na contabilização do passivo total anual resultante do transporte de mercadorias em Portugal no ano de 2013. A concretização das Tabela 4.5 e 4.6 resultou do produto entre as pressões anuais geradas pelos veículos cada classe, presentes no Anexo A2, pelo número total de veículos da referida classe em operação no ano de referência, cuja discriminação se encontra na Tabela 3.7.

Os resultados obtidos para cada indicador *EcoBlok* devem ser analisados tendo em consideração a evolução do desempenho ambiental por norma Euro, contudo é o número de veículos que maior influência tem sobre a grandeza dos valores expostos na Tabela 4.5, abaixo apresentada. Como foi referido previamente, a maioria dos camiões em circulação pertencem à norma de emissão Euro III sendo esta a principal razão pela qual se regista um acréscimo significativo das pressões na referida norma em todas as classes de peso bruto. Uma comparação entre a ordem de grandeza dos vários indicadores não se justifica, visto que estes se encontram normalizados por unidades de pressão distintas, que dependem muito dos factores de equivalência atribuídos.

Os camiões rígidos com peso bruto entre as 14 t e as 20 t de peso bruto são os que maior expressão têm no total de pressões ambientais em 2013. Embora seja, em termos unitários, o camião rígido entre as 20 t e as 26 t o que mais pressão gera por ano, em 2013 apenas se registaram 3 496 veículos em circulação. Por sua vez, verificou-se a utilização de 6 088 camiões pertencentes à classe 14-20 t, dos quais 1 666 eram Euro III. Os veículos rígidos superiores a 32 t são os que menores pressões sobre o ambiente promoveram em 2013, ainda que sejam os que maiores emissões têm por vkm percorrido. A referida categoria teve pouca incidência no transporte de mercadorias, sendo que apenas circularam 332 veículos no ano tido como referência para a presente análise. No total estiveram em circulação 22 064 camiões rígidos registados em Portugal destinados exclusivamente à movimentação de bens.

4. Resultados e discussão

Tabela 4.5 Pressão total referente ao transporte de mercadorias em veículos pesados rígidos no ano de 2013

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (dam ³ eq)	RE (t eq)	LU (ha.a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (g TCDD eq)	PWL (t N eq)
<7,5t	Pré Euro	40,5	4 781	24,7	5 515	239	3,88	418
	Euro I	58,0	7 083	37,4	7 296	304	5,44	632
	Euro II	99,7	11 982	64,5	12 150	502	7,50	1 088
	Euro III	105,9	18 269	101,3	19 857	820	14,3	1 696
	Euro IV	61,2	10 000	57,4	10 390	363	5,87	958
	Euro V	37,6	6 417	37,1	6 600	221	3,25	618
>7,5-12 t	Pré Euro	40,0	5 349	26,4	6 102	301	4,10	417
	Euro I	55,8	7 310	39,2	8 101	391	5,58	606
	Euro II	105,1	14 118	73,2	15 759	679	8,53	1 141
	Euro III	117,8	22 424	120,1	24 897	1 051	17,0	1 859
	Euro IV	67,9	12 297	68,4	13 137	548	7,08	1 052
	Euro V	75,0	14 113	79,3	14 923	628	7,04	227
>12-14 t	Pré Euro	22,0	3 367	18,5	3 773	175	2,25	227
	Euro I	28,7	4 330	25,5	4 722	203	2,85	307
	Euro II	43,7	6 509	39,2	7 020	275	3,53	467
	Euro III	46,0	9 621	56,6	10 517	402	6,30	681
	Euro IV	24,4	4 881	29,9	5 204	192	2,48	356
	Euro V	16,3	3 363	20,8	3 560	130	1,50	246
>14-20 t	Pré Euro	143,0	20 726	141,4	21 534	965	13,8	1 510
	Euro I	157,7	22 553	165,9	22 581	933	14,7	1 730
	Euro II	210,1	29 786	221,9	29 535	1 222	15,5	2 306
	Euro III	203,8	40 678	300,1	40 766	1 618	26,4	3 130
	Euro IV	105,5	20 234	152,8	19 500	752	9,81	1 593
	Euro V	75,1	14 881	114,1	14 097	509	6,20	1 182
>20-26 t	Pré Euro	31,7	7 174	55,0	7 126	309	4,16	455
	Euro I	48,6	10 945	89,2	10 510	435	6,15	720
	Euro II	99,0	22 209	182,9	21 145	879	10,1	1 472
	Euro III	190,7	50 147	405,6	48 437	1 949	28,0	3 289
	Euro IV	146,8	37 752	315,5	35 048	1 361	16,1	2 541
	Euro V	67,8	17 669	149,4	16 181	581	6,53	1 196
>26-28 t	Pré Euro	13,9	2 510	43,0	967	37	1,48	175
	Euro I	18,6	3 380	58,8	1 236	45	1,87	239
	Euro II	29,6	5 363	93,8	1 917	69	2,22	380
	Euro III	39,8	8 387	146,4	3 054	110	4,61	594
	Euro IV	23,5	4 896	85,8	1 677	58	1,81	348
	Euro V	16,3	3 446	60,5	1 150	37	1,04	245

4. Resultados e discussão

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (dam ³ eq)	RE (t eq)	LU (ha.a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (g TCDD eq)	PWL (t N eq)
>28-32 t	Pré Euro	13,0	2 276	34,3	1 138	46	1,78	183
	Euro I	15,5	2 739	42,2	1 302	50	2,02	224
	Euro II	27,0	4 781	73,8	2 245	84	2,63	392
	Euro III	37,1	7 952	122,5	3 803	143	5,83	651
	Euro IV	19,7	4 159	64,4	1 873	67	2,04	342
	Euro V	15,5	3 351	52,1	1 468	49	1,33	276
>32 t	Pré Euro	8,6	1 520	27,4	482	17	0,83	116
	Euro I	11,5	2 058	37,5	622	21	1,05	159
	Euro II	18,4	3 277	59,8	975	32	1,25	253
	Euro III	24,7	5 113	93,4	1 545	51	2,60	396
	Euro IV	14,6	2 986	54,7	836	26	1,01	232
	Euro V	10,1	2 105	38,6	573	17	0,58	163
Total		2 882,2	531 264	4 402	492 846	19 890	301,76	40 471

O transporte de mercadorias com recurso a camiões rígidos gerou no ano de 2013 a seguinte pegada ambiental descrita por indicador: 2,9 hm³ eq. de água consumida; 531 kt eq. de recursos extraídos; 44 km².ano eq. de solos utilizados; 493 kt CO₂ eq. de GEE libertados para a atmosfera; 20 kt NO_x eq. de poluentes atmosféricos emitidos; 41 t N eq. lançadas sobre os solos e cursos de água, sendo as emissões de dioxinas e furanos de 0,30 kg TCDD eq.

Semelhante abordagem foi efectuada para o transporte pesado de mercadorias em veículos articulados, sendo a Tabela 4.6 a consumação do processo de inventariado de emissões associadas ao total de veículos articulados utilizados em 2013. A análise da referida tabela permite verificar que os valores obtidos por indicador são substancialmente superiores quando comparados com as pressões calculadas em camiões rígidos, sobretudo em articulados com peso bruto superior a 34 t. Convém reforçar o facto de o número de quilómetros médios anuais percorridos por veículo articulado ser bastante elevado, quando comparado com o veículo rígido. Por outro lado, o número total de veículos articulados, registados em Portugal, a operar em 2013 foi de 21 773, não sendo muito inferior ao número de rígidos.

A classe de articulados com peso bruto entre as 34 t e as 40 t é aquela que maior contribuição tem para o total de emissões para o ambiente, em função da elevada frequência de utilização destes veículos. No total encontravam-se em circulação 13 900 camiões com as referidas características, aproximadamente 31,7% do total de veículos pesados usados para movimentação de mercadorias no ano de referência do presente estudo. Em contrapartida a classe de veículos articulados de peso bruto não superior a 20 t de peso bruto é a que menores pressões gera em todos os indicadores estabelecidos. Tal situação deve-se ao facto da referida classe ser a menos usada em solo nacional, verificando-se apenas a operação de 25 veículos destas características, nenhum dos quais anterior ao aparecimento da legislação europeia em matéria de emissões de veículos, formalizadas sob a forma de normas de emissão.

4. Resultados e discussão

Tabela 4.6 Pressão total referente ao transporte de mercadorias veículos pesados articulados no ano de 2013

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (dam ³ eq)	RE (t eq)	LU (ha.a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (g TCDD eq)	PWL (t N eq)
>14-20 t	Euro I	0,3	789	0,6	80	3	0,03	3,7
	Euro II	1,0	233	1,9	235	10	0,07	11,2
	Euro III	2,2	631	5,0	641	26	0,21	30,1
	Euro IV	1,9	533	4,3	527	21	0,15	26,0
	Euro V	1,6	457	3,7	451	18	0,12	22,3
>20-28 t	Euro I	0,6	1712	1,4	168	8	0,07	9,0
	Euro II	1,5	423	3,5	410	17	0,15	22,3
	Euro III	3,5	1 080	8,5	1 080	43	0,46	55,6
	Euro IV	2,7	815	7,0	768	30	0,28	44,0
	Euro V	2,4	738	6,3	694	25	0,23	39,7
>28-34 t	Pré Euro	5,1	1 397	12,7	1 284	56	0,61	71,7
	Euro I	21,4	5 988	54,6	5 485	228	2,5	307,9
	Euro II	52,2	14 554	134,5	13 210	549	5,1	752,8
	Euro III	86,5	34 355	313,3	31 519	1 265	14,3	1 767
	Euro IV	70,6	27 749	258,7	24 754	954	9,2	1 451
	Euro V	67,5	27 018	255,4	23 781	850	8,0	1 420
>34-40 t	Pré Euro	82,7	24 088	203,9	21 169	953	9,1	1 169
	Euro I	356,4	103 990	935,1	96 510	3 758	38,0	5 180
	Euro II	869,1	253 381	2 286,8	234 349	9 114	80,0	12 645
	Euro III	1 878	597 269	5 346,8	557 130	20 978	216,1	29 715
	Euro IV	1 547	478 676	4 416,9	433 036	15 495	145,2	24 330
	Euro V	1 476	466 712	4 358,5	417 167	13 786	129,3	23 824
>40-50 t	Pré Euro	25,3	7 316	68,0	6 654	273	2,7	354,2
	Euro I	111,9	32 427	317,5	28 463	1 105	11,5	1 605
	Euro II	270,0	78 086	773,6	67 883	2 644	23,9	3 885
	Euro III	585,9	184 840	1 809,5	162 406	6 121	65,6	9 152
	Euro IV	479,4	149 111	1 496,5	127 351	4 557	44,0	7 517
	Euro V	464,5	145 805	1 477,6	123 104	4 066	39,2	7 375
>50-60 t	Pré Euro	19,8	5 692	55,6	5 016	207	2,2	280,2
	Euro I	85,7	24 679	256,5	20 758	812	9,0	1 248
	Euro II	208,3	59 896	624,9	50 153	1 964	18,7	3 035
	Euro III	450,2	141 048	1 461,0	119 045	4 515	51,4	7 128
	Euro IV	368,4	113 915	1 210,8	93 158	3 350	34,0	5 859
	Euro V	361,2	112 783	1 195,2	92 062	3 059	30,7	5 788
Total		9 961	3 095 935	29 366	2 760 497	100 856	991,6	156 123

Ao transporte de mercadorias efectuado através de articulados associam-se as seguintes pressões por indicador: 10 hm³ eq. de água consumida; extracção de 3 096 kt eq. de recursos; 294 km².ano eq. de solos ocupados; emissão de 2 761 kt CO₂ eq. de GEE para a atmosfera; 101 kt NO_x eq. de poluentes atmosféricos emitidos; libertação de 156 kt N eq. para os solos e cursos de água, assim como de 0,99 kg TCDD eq. de dioxinas e furanos para a atmosfera.

4.2.5 Comparação da pressão ambiental entre 2012 e 2013

Ao longo do presente capítulo foram várias as abordagens realizadas com o intuito revelar as pressões ambientais indirectas provenientes do sector dos transportes pesados. Foram igualmente testados múltiplos cenários que permitiram reflectir sobre a influência de vários parâmetros no desempenho ambiental do referido sector. Todavia, todas estas análises foram elaboradas para o ano de 2013. O presente estudo destina-se a comparar o passivo ambiental gerado pela classe de veículos pesados de mercadorias com peso bruto entre as 34 t e as 40 t nos anos de 2012 e 2013. A escolha da classe justifica-se pelo facto da mesma ser a mais importante no transporte de mercadorias por veículos rodoviários pesados em ambos os anos.

Existem múltiplas variáveis que determinam as diferenças observadas no desempenho da classe nos dois anos estudados. O fluxo de mercadorias é o factor-chave na expressão dessas diferenças, na medida em que influencia o número de veículos utilizados, total de mercadorias transportadas, distância média percorrida por veículos ou factor de carga médio por deslocação. A Tabela 4.7 apresenta dados relativos à actividade da classe nos anos de 2012 e 2013.

Tabela 4.7 Actividade da classe 34-40 t em 2012 e 2013 (Fonte: adaptado de IMTT, 2014; INE, 2013; INE, 2014)

Ano	Tonelada quilómetros alocados a cada classe (10 ⁶ tkm)	Quilómetros percorridos por cada classe (10 ³ km)	Factor de carga médio (%)
2012	17 431	1 146 393	77,6
2013	22 295	1 492 048	76,2

A tabela permite concluir que a classe escolhida para a presente análise foi menos utilizada no ano de 2012. Embora em 2013 se tenha registado uma ténue queda do número total de toneladas movimentadas em Portugal, houve uma utilização mais frequente dos veículos articulados (INE, 2013; INE, 2014). A Tabela 4.8 apresenta a distribuição por normas de emissão dos camiões articulados da classe 34-40 t utilizados em 2012.

4. Resultados e discussão

Tabela 4.8 Agregação do total de pesados de mercadorias da classe 34-40 t em actividade nos anos de 2012 e 2013 (Fonte: adaptado de IMTT, 2014; INE, 2013; INE 2014)

	Euro V	Euro IV	Euro III	Euro II	Euro I	Pré Euro	Total
2012	3 158	3 197	3 850	1 648	674	146	12 674
2013	3 464	3 506	4 223	1 808	739	160	13 900

O ano de 2013 revela uma mudança de paradigma. Houve um claro aumento da frota de articulados utilizada em relação ao ano anterior para responder às necessidades logísticas. Convém então perceber como se traduz esta situação em termos de pressões ambientais por cada um dos indicadores *EcoBlok* aplicados.

Tabela 4.9 Comparação entre a pressão ambiental associada à classe 34-40 t nos anos de 2012 e 2013

Ano	Norma Euro	WA (dam ³ eq)	RE (t eq)	LU (ha.a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (g TCDD eq)	PWL (t N eq)
2012	Pré Euro	66	18 658	157	16 378	736	7,6	957
	Euro I	282	80 535	721	74 566	2 903	31,5	4248
	Euro II	688	196 092	1 762	180 895	7 029	65,5	10 363
	Euro III	1 466	462 269	4 122	433 333	16 203	179,3	24 351
	Euro IV	1 211	370 680	3 406	334 171	11 946	118,7	19 958
	Euro V	1 153	361 441	3 360	321 803	10 625	104,8	19 551
2013	Pré Euro	83	24 088	204	21 169	953	9,1	1 169
	Euro I	356	103 990	935	96 510	3 758	37,7	5 180
	Euro II	869	253 381	2 287	234 349	9 113	79,7	12 645
	Euro III	1 878	597 269	5 347	557 130	20 978	216,1	29 715
	Euro IV	1 547	478 676	4 417	433 036	15 495	145,2	24 330
	Euro V	1 476	466 712	4 358	417 167	13 786	129,3	23 824
Total 2012		4 866	1 489 675	13 528	1 358 137	49 442	507,9	79 428
Total 2013		6 209	1 924 117	17 548	1 759 361	64 083	617,2	96 863
Diferença		+ 1 343	+ 434 442	+ 4 020	+ 401 224	+ 14 641	+ 109,3	+ 17 435

Através da Tabela 4.9 é possível verificar que no ano de 2013 se registaram pressões substancialmente superiores em todos os sete indicadores, devido ao maior número de camiões articulados desta classe específica nesse ano. Importa referir que embora esta tendência seja replicada nas restantes classes articuladas, as classes rígidas de pesados de mercadorias têm tendência contrária, verificando-se uma diminuição considerável das pressões em 2013 face ao ano anterior (INE, 2013; INE, 2014). O abrandamento registado no movimento anual de mercadorias pode estar relacionado com a situação financeira vivida por parte dos consumidores, cujo poder de compra tem reduzido em anos recentes.

4.3 Transporte pesado de passageiros

4.3.1 Indicadores agregados

Daqui em diante serão analisadas as pressões provenientes do transporte colectivo rodoviário de passageiros. Para este subsector recorre-se à unidade funcional passageiro-quilómetro (pkm), cujo objectivo passa por alocar as pressões em função do número médio de passageiros em cada serviço de transporte realizado.

A Tabela 4.10 exhibe as pressões por pkm calculadas para cada tipo de autocarro em actividade no ano de 2013, em território nacional. Os resultados observados surgem de um complexo processo de adaptação das várias etapas do ciclo de vida de cada veículo ao contexto português.

4. Resultados e discussão

Tabela 4.10 Pressão ambiental por pkm para cada classe de veículo de passageiros

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (L eq/pkm)	RE (g eq/pkm)	LU (dm ² .a eq/pkm)	GHG (g CO ₂ eq/pkm)	PA (g NO _x eq/pkm)	DF (µg TCDD eq/pkm)	PWL (g N eq/pkm)
<= 15t Urbano	Pré Euro	0,81	49,9	0,15	63,6	2,9	0,02	6,5
	Euro I	0,76	41,8	0,14	51,8	2,3	0,02	6,2
	Euro II	0,76	40,2	0,14	49,0	2,2	0,02	6,3
	Euro III	0,57	55,0	0,15	70,5	2,9	0,03	6,7
	Euro IV	0,60	51,2	0,15	64,6	2,5	0,02	6,6
	Euro V	0,56	50,9	0,15	61,6	2,4	0,02	6,6
15-18t Urbano	Pré Euro	0,77	51,7	0,14	66,5	3,1	0,02	6,2
	Euro I	0,72	44,8	0,13	56,3	2,5	0,02	6,0
	Euro II	0,72	43,1	0,13	53,5	2,4	0,02	6,0
	Euro III	0,54	57,9	0,15	74,9	3,1	0,03	6,5
	Euro IV	0,57	54,0	0,14	68,9	2,7	0,03	4,1
	Euro V	0,53	53,4	0,14	66,0	2,6	0,02	6,4
>18 t articulado	Pré Euro	0,74	82,9	0,15	112,2	5,5	0,04	6,4
	Euro I	0,68	70,2	0,14	93,9	4,2	0,03	6,0
	Euro II	0,67	67,7	0,14	89,9	4,1	0,03	5,9
	Euro III	0,52	83,4	0,15	112,6	4,8	0,03	6,5
	Euro IV	0,53	76,6	0,15	102,4	4,1	0,03	6,3
	Euro V	0,50	75,6	0,15	99,1	4,0	0,03	6,3
<=18 t Interurbano	Pré Euro	0,68	52,7	0,12	68,8	3,2	0,02	5,8
	Euro I	0,64	48,1	0,12	62,0	2,8	0,02	5,7
	Euro II	0,46	48,1	0,12	61,6	2,8	0,02	5,7
	Euro III	0,48	64,5	0,14	85,2	3,5	0,03	6,3
	Euro IV	0,51	63,9	0,14	83,9	3,3	0,03	6,2
	Euro V	0,48	63,2	0,14	81,0	3,1	0,02	6,2
15-18 t Ocasional	Pré Euro	0,35	48,5	0,10	66,0	3,3	0,02	3,1
	Euro I	0,32	41,5	0,09	55,8	2,6	0,01	2,8
	Euro II	0,31	40,1	0,09	53,6	2,5	0,01	2,8
	Euro III	0,29	55,7	0,11	75,5	3,1	0,02	3,6
	Euro IV	0,29	52,8	0,09	71,4	2,8	0,02	3,3
	Euro V	0,27	52,1	0,10	69,8	2,8	0,02	3,3
<=18 t Ocasional	Pré Euro	0,33	28,8	0,08	37,2	1,8	0,01	2,9
	Euro I	0,31	27,2	0,08	34,7	1,6	0,01	2,8
	Euro II	0,23	27,2	0,08	34,6	1,6	0,01	2,8
	Euro III	0,26	42,0	0,09	55,6	2,2	0,02	3,3
	Euro IV	0,27	42,1	0,09	55,6	2,1	0,02	3,3
	Euro V	0,26	41,6	0,09	53,9	2,0	0,01	3,3

4. Resultados e discussão

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (L eq/pkm)	RE (g eq/pkm)	LU (dm ² .a eq/pkm)	GHG (g CO ₂ eq/pkm)	PA (g NO _x eq/pkm)	DF (µg TCDD eq/pkm)	PWL (g N eq/pkm)
<=18 t Expresso	Pré Euro	0,18	28,4	0,07	38,1	1,8	0,01	1,7
	Euro I	0,17	26,6	0,07	35,5	1,7	0,01	1,7
	Euro II	0,14	26,7	0,07	35,6	1,7	0,01	1,7
	Euro III	0,17	40,8	0,08	55,4	2,2	0,02	2,2
	Euro IV	0,18	41,7	0,08	56,7	2,1	0,01	2,2
	Euro V	0,17	41,2	0,08	55,5	2,0	0,01	2,2
Média		0,46	49,9	0,12	65,3	2,8	0,02	4,7

A taxa média de ocupação, quilómetros percorridos e velocidade de operação são determinantes para os resultados obtidos. Os autocarros articulados destacam-se como o transporte rodoviário pesado de passageiros mais nocivo do ponto de vista ambiental, devido à sua reduzida taxa de ocupação e reduzida velocidade de operação. Autocarros de transporte interurbano têm um passivo ambiental global elevado fruto das reduzidas taxas de operação que este tipo de serviço teve em Portugal no ano de 2013. Este tipo de serviço tem registado cada vez menos afluência em favor dos serviços expresso, que embora sejam mais caros, oferecem uma viagem mais rápida e mais confortável aos utilizadores. A taxa de ocupação média verificada em cada é muito importante na expressão dos valores de pressão distribuídos por pkm.

A evolução cronológica das pressões, medida sob a forma de normas de emissão, revela uma situação incomum e diferente da verificada no Capítulo 4.1.1. O facto de as pressões serem superiores nas normas Euro III, IV e V quando comparadas às mais antigas resultam de pressupostos específicos assumidos em relação à importação dos veículos e descritos no capítulo de apresentação da metodologia. Este factor promove a inflação das pressões associadas à manufactura, onde se contabilizam as pressões associadas aos processos de importação que diluem a expressão da evolução verificada ao nível da produção industrial ao longo dos anos nos ICV, assim como as eventuais melhorias de desempenho que se verificam na operação de motores Euro III e Euro IV face aos Euro I ou Euro II. O conceito de sectorização da indústria automóvel permitiu uma maior eficiência do processo todavia, uma maior necessidade movimentar as componentes fundamentais de produção entre os diversos postos de manufactura. Este processo gera, naturalmente, um incremento das pressões inerentes à expedição de mercadorias quando comparado o modelo de produção total realizada num único complexo, como se verificava no passado.

O desempenho ambiental médio do transporte rodoviário colectivo em 2013, por indicador *EcoBlok*, foi o seguinte: 0,46 L eq./pkm para o indicador WA; 49,9 g eq./pkm para o indicador RE; 0,12 dm².ano eq./pkm para o indicador LU; 65,3 g CO₂ eq./pkm para o indicador GHG; 2,8 g NO_x eq./pkm para o indicador PA; 0,02 µg TCDD eq./pkm para o indicador DF e 4,7 g N eq./pkm para o indicador PWL.

A leitura e compreensão dos valores inseridos na Tabela 4.10 depende muito da noção que o leitor tenha da influência que os processos incluídos em cada fase do ciclo de vida têm no valor final de pressão em cada indicador. O Capítulo 4.3.2 permite explorar essa vertente de forma clara.

4.3.2 Análise por indicador *EcoBlok*

Seguir-se-á a apresentação e discussão do desempenho de três veículos de classes consideradas como as que caracterizam as diferentes modalidades de transporte pesado rodoviário colectivo. As especificações dos referidos veículos podem ser consultadas no

Capítulo 3.5.7. Várias são as etapas do ciclo de vida com semelhantes processos entre os dois tipos de transporte pesado estudados. Assim sendo perspectiva-se um paralelismo entre indicadores, ainda que certas singularidades próprias da realidade de cada subsector determinem divergências pontuais, que são devidamente justificadas.

O cálculo das pressões associadas a cada indicador na fase de manufactura, operação e fim de vida de cada veículo é efectuado de forma a alocar o valor absoluto por cada pkm realizado por veículo ao longo de todos os anos de operação. Das referidas fases a manufactura, fim de vida e certos processos incluídos na operação ocorrem apenas uma vez na vida útil.

Na fase de operação do veículo, especificamente no processo de circulação, pretende-se avaliar o desempenho ambiental tendo em conta o número médio de passageiros transportado. A metodologia de cálculo adoptada divide o número total de pkm realizados por cada tipo de veículo pelo total da frota activa em 2013. Embora o método utilizado gere uma divisão equitativa do total de transporte por cada veículo de cada classe, a escolha deste pressuposto tornou-se necessária face à escassez de informação mais precisa.

Consumo de água (WA)

Existe uma diferença substancial em relação aos metros cúbicos de água consumidos em cada fase do ciclo de vida considerada. O autocarro urbano médio é aquele que maior *input* de água necessita por pkm percorrido. Este é o transporte que, em média, maior número de passageiros transporta por serviço, sendo igualmente o que apresenta consumos de combustível mais elevados. A operação de autocarros em percurso urbano ocorre a baixas velocidades com variações constantes de ritmo de andamento. Este tipo de condução tem impacte directo nas necessidades de combustível, que por sua vez integra consideráveis consumos de água por kg produzido a montante no seu ciclo de vida.

O serviço expresso é o que menos pressão gera sobre os recursos hídricos. Embora registe taxas médias de ocupação inferiores ao transporte urbano, o seu modo de operação caracteriza-se por velocidades homogéneas em auto-estrada permite um consumo de gasóleo três vezes inferior ao serviço urbano, com naturais benefícios no desempenho ambiental.

O serviço interurbano é o menos frequentado de entre os designados transportando, em média, 16 passageiros por viagem realizada. Embora o veículo utilizado seja estruturalmente idêntico ao expresso, o percurso é realizado com velocidades médias inferiores devido ao facto de utilizar estradas menos seguras e de efectuarem várias paragens ao longo do percurso. Tais diferenças no método de operação resultam num incremento de 60 g de combustível por quilómetro percorrido.

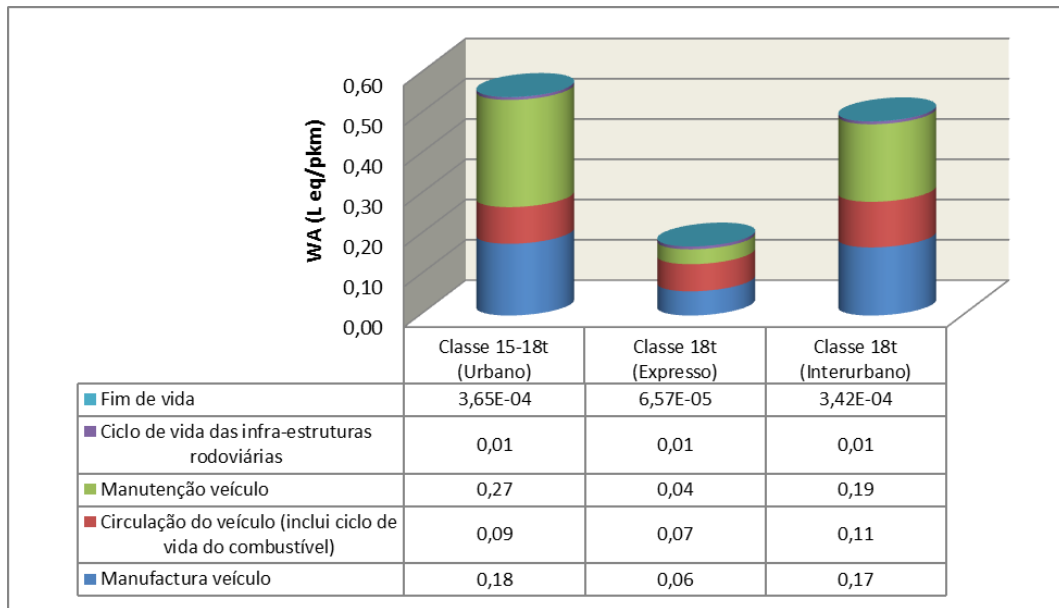


Figura 4.8 Consumo de água ao longo do ciclo de vida em pesados de passageiros

A Figura 4.8 revela o processo de manutenção do veículo, parte integrante da fase de ciclo de vida relativa à operação, como um dos mais contribui para o consumo global de água. A sua preponderância varia entre os 22% no serviço expresso e os 49% na classe urbana, onde é o processo dominante. Para este veículo específico o volume de água utilizado ao longo da manutenção, segundo a base de dados *Ecoinvent*, é de 1 298 m³ eq. por veículo ao longo da sua vida útil. Devido à falta de dados mais fidedignos assumiu-se o referido valor como sendo o que melhor caracteriza o processo.

Em relação à manufactura, a extracção de consumo de recursos hídricos deve-se às operações de importação de materiais através de camiões e navio transatlântico, obtenção de matérias-primas, refinação de materiais, produção de componentes e montagem final dos veículos.

Consumo de recursos (RE)

No presente indicador *EcoBlok* destaca-se a classe designada para serviços de transporte interurbano como a que tem um maior consumo de recursos ao longo da cadeia valor. As múltiplas etapas do ciclo de vida do combustível, cujo ICV considera as várias proveniências do *mix* de importação e refinação em Portugal, são as que maiores pressões geram sobre o ambiente. Estas reflectem-se no processo de circulação, o mais relevante em todo o ciclo de vida dos veículos analisados. O factor de equivalência aplicado aos recursos naturais de petróleo, enquanto produto com reservas limitadas acrescenta ênfase ao impacte total calculado na fase de operação.

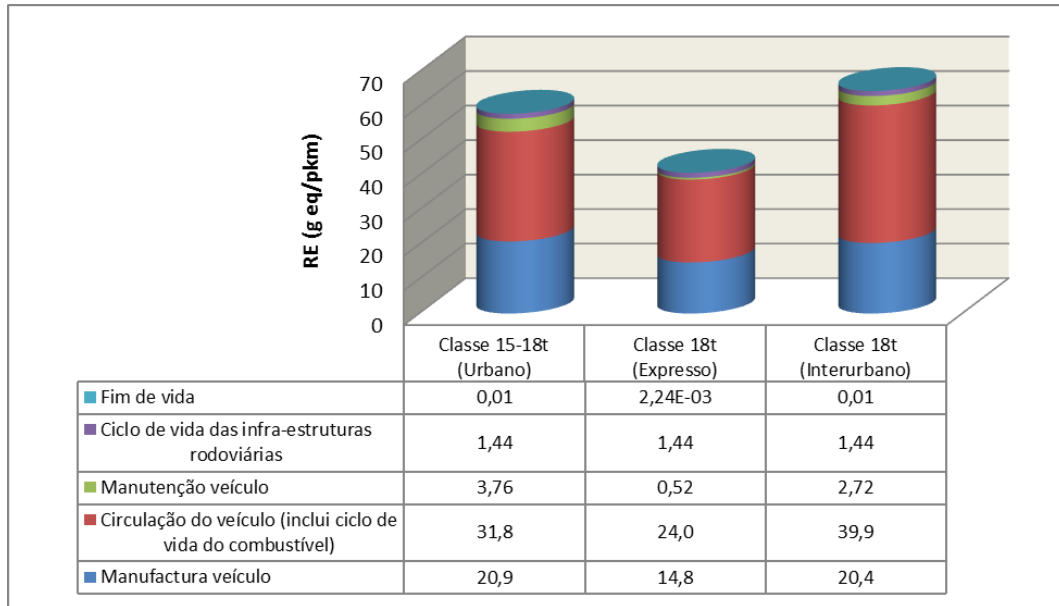


Figura 4.9 Consumo de recursos ao longo do ciclo de vida em pesados de passageiros

Importa destacar que ao autocarro pertencente à classe 15-18 t está associado um consumo de recursos inferior ao veículo da classe de serviço interurbano, embora o consumo de combustível seja superior na primeira. O menor número médio de passageiros por serviço verificado no transporte interurbano acaba por penalizar o desempenho ambiental do mesmo, dada a sua ineficiência de transporte.

A circulação do veículo, processo que permite o deslocamento dos passageiros, tem a si associada uma percentagem igual ou superior aos 55% em qualquer das três classes estudadas e juntamente com a manufatura perfazem que ultrapassa os 90% do total de recursos consumidos ao longo de ciclo de vida de qualquer um dos veículos de referência.

Uso do solo (LU)

A metodologia *EcoBlok* prevê penalizações mais severas para ocupação de grandes extensões de solos e/ou de solos com elevado valor patrimonial. Neste âmbito surge a fase de operação como a que maior área de solo ocupa por pkm. Todo o solo ocupado pelos campos petrolíferos, complexos de refinação, infra-estruturas de transporte (*pipelines*) ou complexos de armazenagem tem grande influência no presente indicador (Lopes, 2014).

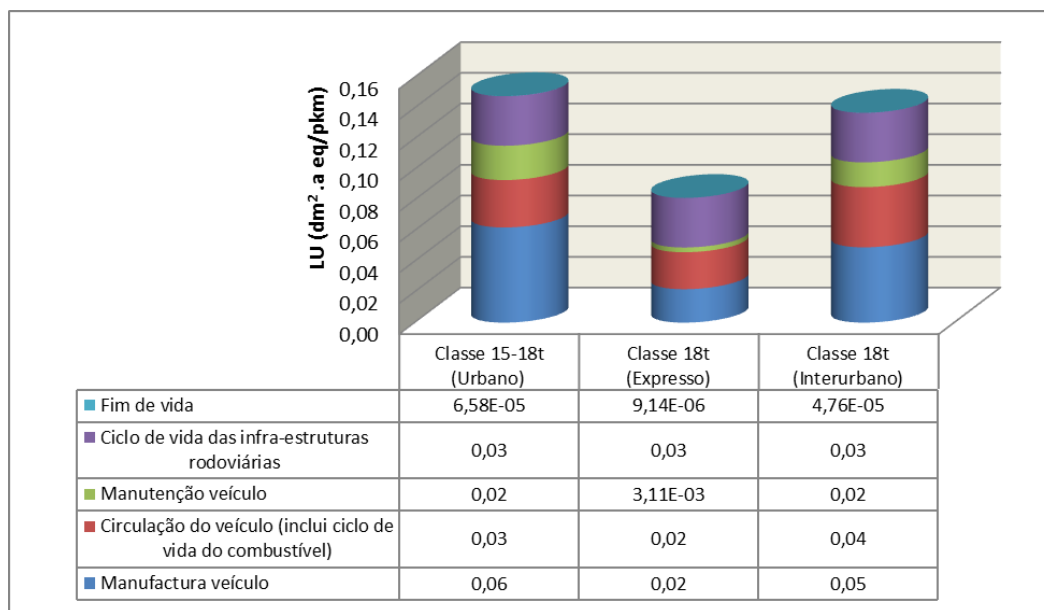


Figura 4.10 Uso dos solos ao longo do ciclo de vida em pesados de passageiros

À operação e manutenção das infra-estruturas rodoviárias estão associadas grandes áreas de solo ocupado. Esta situação deve-se à significativa extensão de rodovias existentes em Portugal. Com base em dados reportados pela instituição europeia de estatísticas, Eurostat, estabeleceu-se uma percentagem de uso de 8% das infra-estruturas rodoviárias por parte dos transportes pesados de passageiros.

Todos os autocarros têm no ciclo de vida das infra-estruturas rodoviárias uma parte muito significativa do valor total de uso do solo por pkm. Para o veículo de 18 t especializado em serviço expresso este é mesmo processo maioritário, significando 39% das pressões globais sobre o solo. Quanto aos veículos das restantes classes, com maiores índices globais de decímetros quadrados ocupados por pkm, é o estágio de manufactura o mais preponderante. Na classe destinada aos serviços de transporte urbano o referido estágio tem a si associado 42% do total de solo ocupado sendo este o que pior desempenho ambiental apresenta no presente indicador.

Emissão de gases com efeito de estufa (GHG)

Nas emissões de GEE destacam-se o CO₂, CH₄ e N₂O como os mais abundantemente emitidos ao longo dos processos integrantes dos ICV produzidos. Através da Figura 4.11 facilmente se observa o impacte da fase de operação no total de emissões de gases com potencial de aquecimento global. O autocarro urbano, embora tenha maior quantidade de emissões associadas por vkm, transporta uma média de passageiros superior por serviço, factor que atenua as emissões produzidas em cada serviço de transporte efectuado. Por sua vez o transporte interurbano, serviço cada vez menos frequentado devido à preferência dada ao serviço expresso, gera maiores emissões por pkm cumprido.

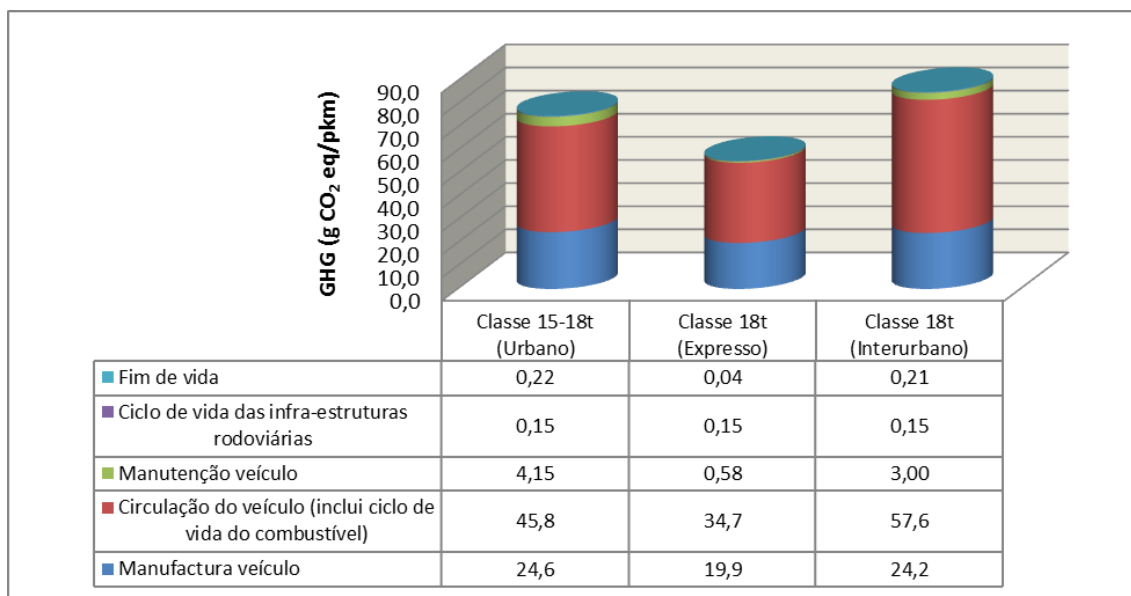


Figura 4.11 Emissões de gases com efeito de estufa ao longo do ciclo de vida em pesados de passageiros

Na base da acentuada preponderância da fase de operação está o exauste de GEE ao longo das viagens realizadas. Destaca-se o CO₂ como o gás com potencial de aquecimento global emitido em maior quantidade. A velocidade, número de passageiros transportados e tipo de percurso surgem como factores limitantes da libertação de GEE, na medida em que têm influência directa sobre os consumos de combustível. Recorde-se ainda os processos *upstream* do ciclo de vida do combustível que reforçam o estatuto da operação de circulação como o processo que maior potencial de aquecimento global apresenta em todas as classes de referência, com percentagens nunca inferiores a 61%.

A fase de manufatura surge como a segunda mais influente no total de CO₂ equivalente libertado por pkm. Para tal contribuem decisivamente as etapas de expedição de componentes provenientes de distintos locais do mundo através de diferentes meios de transporte. A classe designada para a realização de serviços expresso assume um peso de 35%, superior ao registado nas restantes classes, em função do superior desempenho ambiental da sua fase operacional. Um estudo desenvolvido por Chester e Horvath (2009) referente à análise do desempenho de diversos modos de transporte de passageiros concluiu que os autocarros citadinos produzem cerca de 65% das emissões de GEE durante a sua operação. Os resultados aqui apresentados corroboram esta tendência, com a classe urbana entre 15 t e 18 t de peso bruto a registar 67% do total de emissões na referida fase. Independentemente do âmbito geográfico ou das especificações relativas à operação pode-se concluir que o transporte de passageiros entre os anos de 2009 e 2013 não regista evolução significativa, continuando a ser preterido em favor do veículo individual.

Emissão de poluentes atmosféricos (PA)

O indicador destinado a contabilizar a poluição do ar revela uma tendência semelhante à verificada no indicador imediatamente anterior. As três classes de veículos rodoviários pesados de passageiros registam maiores emissões de NO_x eq. por pkm na sua fase de operação. A libertação de CO, partículas ou metais pesados são contabilizadas pelo presente indicador, tendo estas maior expressão na circulação dos veículos. Conforme referido anteriormente, a abundância de emissões depende do modo de circulação e das circunstâncias que o influenciam directamente.

A fase de manufactura contabiliza elevadas emissões de poluentes como CO, NO_x, SO₂ e diversos metais pesados decorrentes, sobretudo, dos processos industriais de produção e refinação de metais. A expedição de materiais até ao local de montagem por via rodoviária e marítima contribui igualmente para a expressão desta fase do ciclo de vida. A metodologia de cálculo utilizada para normalizar as pressões e o elevado número de quilómetros percorridos ao longo da vida útil por cada veículo de transporte expresso, especializado em viagens de longa distância nacionais e internacionais, justifica a maior diluição das pressões por pkm em relação às restantes.

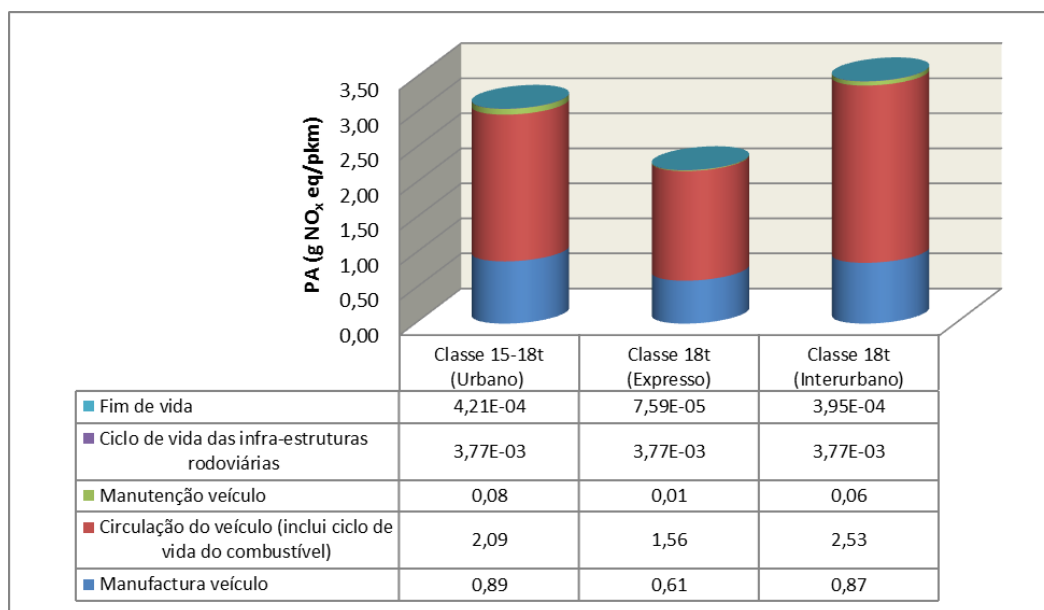


Figura 4.12 Emissões de poluentes atmosféricos ao longo do ciclo de vida em pesados de passageiros

Quanto à operação, a conjugação da taxa média de ocupação e modo de circulação determinam um superior desempenho ambiental por parte dos autocarros de serviço expresso. Esta fase do ciclo de vida domina em qualquer um dos serviços aqui analisados com percentagens nunca inferiores a 71% do total de poluentes emitidos. Juntamente com a fase de manufactura, a expressão de ambas as fases chega aos 99,9% do valor total obtido para o presente indicador.

Emissão de dioxinas e furanos (DF)

As classes de transporte de passageiros analisadas têm emissões de dioxinas e furanos substanciais nas fases de manufatura e operação. Os veículos designados para transporte interurbano são os que têm maiores emissões por pkm derivado da menor taxa de ocupação registrada para este serviço no ano de 2013, conforme se observa na Figura 4.13.

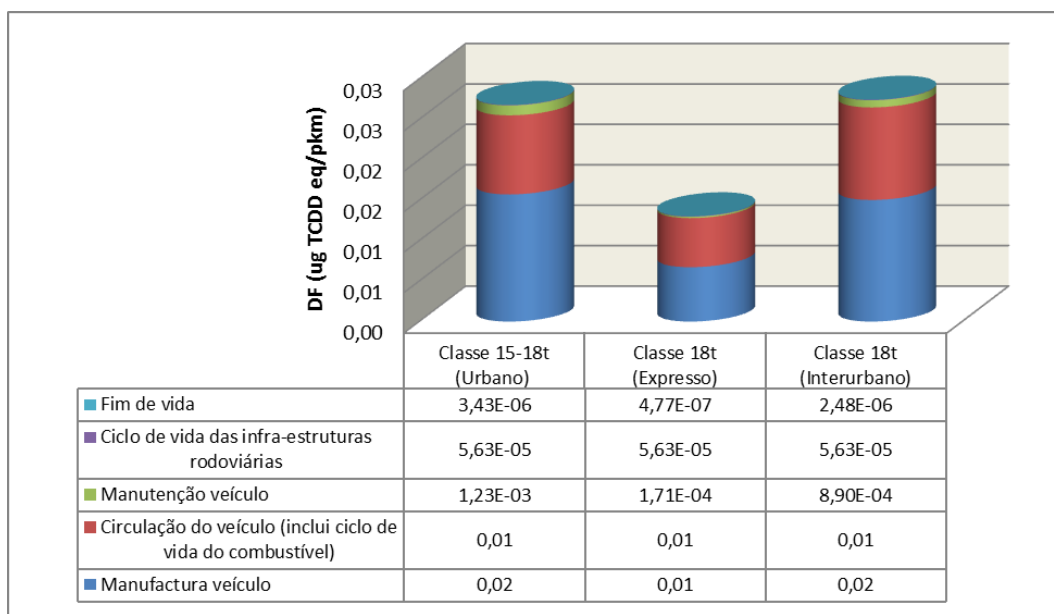


Figura 4.13 Emissões de dioxinas e furanos ao longo do ciclo de vida em pesados de passageiros

A relevância de emissões de dioxinas e furanos na fase de manufatura está associada aos processos industriais que ocorrem a montante na cadeia de valor. Conforme referido anteriormente, a produção metalúrgica e as fontes de energia contribuem decisivamente para a quantidade de dioxinas e furanos libertados para o ar. A emissão de dioxinas e furanos durante a operação de veículos depende directamente do consumo de combustível, que por sua vez depende de várias circunstâncias entre as quais a velocidade de circulação, taxa de ocupação ou condicionantes topográficas.

A manufatura tem, em qualquer uma das três classes apresentadas, uma percentagem nunca inferior a 50% do total de emissões decorrentes das actividades características da fase do ciclo de vida. Adicionando a operação, as duas fases em equivalerem a mais de 99% do total de emissões no do ciclo de vida de qualquer das classes de transporte de passageiros aqui estudada.

Emissão de poluentes para a água e solo (PWL)

A avaliação de emissões de contaminantes para cursos de água e para os solos é essencial para uma completa contabilização do passivo ambiental gerado ao longo da cadeia de valor de qualquer produto. A Figura 4.14 corrobora a tendência evidenciada ao longo de todo o Capítulo 4.2.2, destacando o veículo de 18 t especializado em serviço expresso de transporte de passageiros como o mais eficiente do ponto de vista ambiental, por cada pkm cumprido.

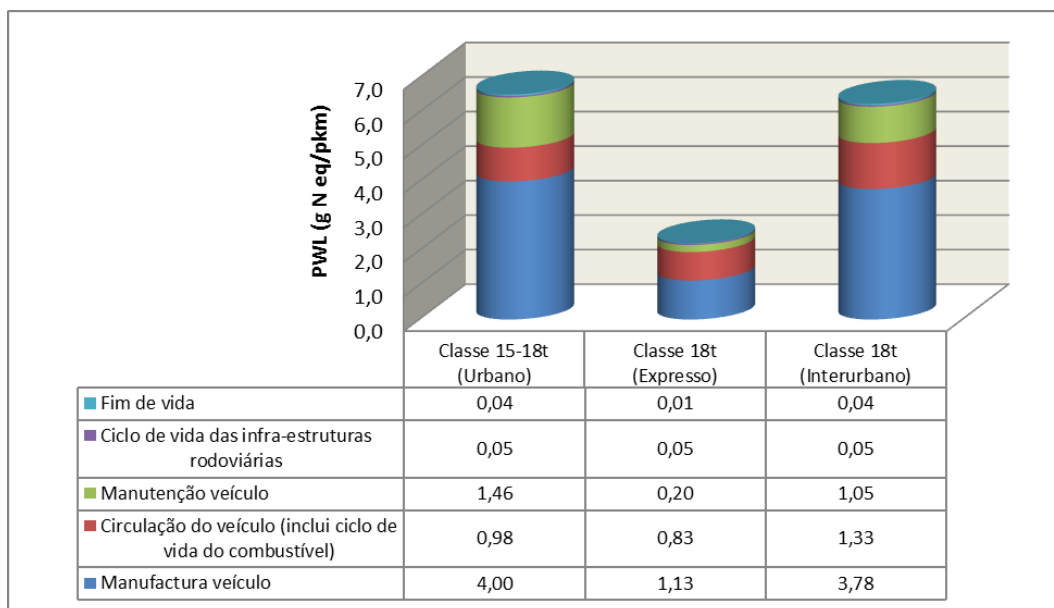


Figura 4.14 Emissões para a água e o solo ao longo do ciclo de vida em pesados de passageiros

Ao longo de todos os processos incluídos nos ICV pertencentes à manufactura destaca-se a extracção de minérios e produção de metais como sendo de relevância para o indicador PWL. A actividade mineira promove emissões de metais pesados assim como produção de alumínio, ferro ou aço (Classen *et al.*, 2009). Hoje em dia, os complexos industriais estão equipados com estações de tratamento de efluentes contudo, o tratamento não elimina a totalidade de contaminantes antes das suas descargas em massas de água. Também os resíduos produzidos são contabilizados por este indicador. As fontes de energia utilizadas nas operações industriais têm a si associadas elevadas emissões, servindo de exemplo a electricidade produzida a partir de fontes não renováveis como o carvão. Convém ainda referir a contribuição das operações de importação de materiais provenientes do continente europeu e asiático, cujas pressões tem influência do valor total de emissões para a referida etapa do ciclo de vida.

A fase de operação deve-se, sobretudo, aos múltiplos serviços de passageiros desempenhados grande parte das emissões de poluentes e contaminantes para água e solos. Durante a extracção e produção de petróleo ocorrem fugas que afectam vastas extensões de

terreno. Também a refinação em território nacional gera emissões de volumes consideráveis de efluentes para tratamento (Lopes, 2014). Importar reforçar que quanto maior for o consumo de combustível durante o uso dos veículos, maior é a magnitude das pressões associadas ao ciclo de vida do mesmo. Por fim, o atrito que se verifica entre os pneus e a superfície de contacto resulta em emissões de iões metálicos para as águas e metais para os solos (Spielmann *et al.*, 2007).

A manutenção dos veículos, integrada na fase de operação, apresenta também um elevado risco de eutrofização para os ecossistemas aquáticos devido às elevadas emissões de azoto e espécies equivalentes. O seu peso no global de emissões varia consideravelmente entre classes. Na classe entre 15 t e 18 t representa 22% do total e a na classe de 18 t apenas 9%. A manufactura tem uma percentagem nunca inferior a 50% e a condução, ou uso, varia entre um máximo de 38% (classe 18 t expresso) e um mínimo de 15% (classe 15-18 t urbano) de representatividade no ciclo de vida de cada unidade.

Comparando a figura imediatamente acima com a Figura 4.7 que representa a distribuições das emissões para água e solo dos transportes pesados de mercadorias verifica-se uma clara disparidade quanto à preponderância da fase de fim de vida entre os dois subsectores estudados. Deve-se este facto aos valores gerados pela base de dados *Ecoinvent*, que assume uma quantidade de resíduos gerados pelo desmantelamento de autocarro muito inferior à quantidade que resulta do desmantelamento de camiões.

4.3.3 Pressão total ao longo da vida útil

O presente capítulo destina-se a analisar o total de pressões geradas pelos veículos rodoviários de passageiros ao longo da sua vida útil formalizada através da Tabela 4.11. Na base dos resultados obtidos está a utilização do valor de pkm do ano de 2013, o qual foi assumido como sendo constante ao longo dos 17 anos de vida útil determinados para autocarros em Portugal.

O número de quilómetros médios anuais percorridos por cada veículo tem influência decisiva na grandeza das emissões contabilizadas, pois quanto maior for o uso do veículo, maiores serão as suas emissões, especialmente na fase de operação. O processo de circulação dos veículos é o principal factor da expressão dos indicadores RE, GHG e PA. O ciclo de vida do combustível revela-se fundamental em todos os indicadores estabelecidos pela metodologia *EcoBlok*, uma vez que os processos situados a montante do consumo têm a si associados emissão elevadas, sendo as mesmas alocadas à fase de operação de todos os autocarros e agravadas consoante o consumo por quilómetro de cada um.

4. Resultados e discussão

Tabela 4.11 Pressão total ao longo da vida útil de cada classe de pesados de passageiros

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (dam ³ eq)	RE (t eq)	LU (dam ² .a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (g TCDD eq)	PWL (t N eq)
<= 15t Urbano	Pré Euro	3,6	240	121,2	276	12,6	0,11	28,5
	Euro I	3,4	205	118,0	225	10,0	0,09	27,5
	Euro II	3,4	198	117,4	213	9,4	0,07	27,3
	Euro III	2,4	206	117,4	226	10,2	0,09	27,6
	Euro IV	2,5	189	115,9	201	8,5	0,08	27,1
	Euro V	2,4	188	115,6	188	8,1	0,06	27,0
15-18t Urbano	Pré Euro	3,9	287	146,3	328	15,3	0,12	31,5
	Euro I	3,7	253	143,1	278	12,3	0,11	30,5
	Euro II	3,7	245	142,5	264	11,6	0,09	30,2
	Euro III	2,7	253	142,6	279	12,4	0,11	30,5
	Euro IV	2,8	234	140,8	250	10,5	0,10	29,9
	Euro V	2,6	231	140,5	236	10,0	0,08	29,9
>18 t articulado	Pré Euro	5,8	703	356,5	813	38,8	0,26	49,1
	Euro I	5,4	613	348,2	683	30,4	0,22	46,4
	Euro II	5,3	595	346,6	654	29,3	0,19	45,8
	Euro III	4,0	612	347,8	683	30,6	0,23	46,5
	Euro IV	4,1	564	343,1	610	25,6	0,21	44,9
	Euro V	3,9	557	342,5	587	25,2	0,18	44,7
<=18 t Interurbano	Pré Euro	5,1	466	332,3	473	21,7	0,17	42,5
	Euro I	4,9	435	329,5	430	19,1	0,15	41,6
	Euro II	3,7	435	329,6	427	18,8	0,13	41,6
	Euro III	3,6	456	330,1	461	19,9	0,16	42,4
	Euro IV	3,8	452	330,4	452	18,6	0,16	42,2
	Euro V	3,6	433	330,1	433	17,6	0,13	42,1
15-18 t Ocasional	Pré Euro	6,4	1 490	582,9	1 866	48,1	0,26	62,2
	Euro I	6,0	1 388	573,4	1 718	37,9	0,21	59,1
	Euro II	5,9	1 367	571,6	1 686	36,7	0,19	58,5
	Euro III	5,1	1 401	573,4	1 732	37,9	0,23	62,9
	Euro IV	5,0	1 358	570,0	1 672	33,1	0,20	58,5
	Euro V	4,8	1 650	569,3	1 650	32,7	0,18	58,3
<=18 t Ocasional	Pré Euro	5,6	587	490,5	560	26,5	0,18	46,8
	Euro I	5,3	563	488,3	524	23,9	0,16	46,0
	Euro II	4,2	564	488,4	523	23,6	0,14	46,1
	Euro III	4,1	584	489,7	556	24,3	0,17	46,8
	Euro IV	4,3	586	489,8	555	23,1	0,17	46,8
	Euro V	4,0	579	489,1	530	20,9	0,14	46,6

4. Resultados e discussão

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (dam ³ eq)	RE (t eq)	LU (dam ² .a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (g TCDD eq)	PWL (t N eq)
<=18 t Expresso	Pré Euro	7,6	1 240	780,4	1 364	65,4	0,32	68,8
	Euro I	7,3	1 176	774,6	1 270	58,6	0,29	66,9
	Euro II	6,1	1 180	775,0	1 273	60,2	0,31	67,0
	Euro III	6,0	1 203	776,5	1 309	58,2	0,30	67,8
	Euro IV	6,3	1 237	779,6	1 355	56,5	0,31	68,8
	Euro V	6,1	1 217	777,7	1 312	51,9	0,28	68,2

Apesar de operar em condições que favorecem um desempenho mais eficiente, os veículos destinados à realização de serviços de transporte expresso destacam-se como os que maior passivo ambiental geram neste subsector de transporte. Em média, cada autocarro expresso percorre mais de 100 000 km anuais e tem uma taxa de ocupação de 40%. Por outro lado são os autocarros especializados em serviços urbanos que menores distâncias médias percorrem, não ultrapassando os 8 500 km médios por unidade. Em primeira análise este valor parece irreal dado o facto do transporte colectivo urbano por meio de veículos pesados ser o que regista maior afluência diária de passageiros. No entanto, a divisão equitativa do total de quilómetros pelo número de veículos resultou no valor indicado. Conclui-se portanto que o número de autocarros urbanos activos em Portugal no ano de 2013 é excessivo face à demanda efectiva pelo serviço. Tal como foi mencionado no Capítulo 4.2.3, os indicadores com maior manifestação das suas pressões na fase de operação terão maior expressão nas classes de serviços com maior número de quilómetros percorridos por ano. Em virtude da diluição da pressão por 17 anos de vida útil, a importação de componentes deixa de ter um impacte decisivo para o agravamento das emissões em autocarros pós- Euro II.

O Anexo A2 apresenta os valores de pressões anuais inerentes a cada tipo de serviço, sendo que os mesmos serviram como base para a determinação das pressões por indicador durante a toda a vida útil

4.3.4 Pressão anual para o total da frota

O presente capítulo destina-se a avaliar o passivo ambiental total gerado pela frota de veículos pesados para transporte de passageiros no ano de 2013, em Portugal. O procedimento para determinação dos valores totais de pressões baseia-se na multiplicação das emissões totais produzidas por cada veículo pelo número de veículos em actividade. Desta abordagem resulta a Tabela 4.12, a qual insere todos os tipos de serviços de transporte colectivo rodoviário de passageiros analisados.

Exceptuando o indicador relativo à extracção de água, averigua-se nos indicadores *EcoBlok* um agravamento das pressões nos veículos Euro III face às anteriores normas. Na génese desta situação está o número de veículos pertencentes a cada uma das normas Euro, que tem influência decisiva no valor de pressão determinado por indicador. A fase de operação dos veículos, com destaque para o ciclo de vida do combustível, sobressai como o estágio de ciclo de vida mais relevante para estes indicadores concretos, bem como dos restantes com excepção do DF, cujas emissões maioritária provêm da manufactura conforme revelou a análise detalhada realizada ao longo do Capítulo 4.3.2.

Os autocarros urbanos com pesos brutos que variam entre as 15 t e as 18 t destacam-se como os que mais pressões geraram em 2013, embora a análise feita à actividade por veículo revele um baixo índice de distância média percorrida por ano devido ao facto de se ter registado um elevado número destes autocarros em circulação. Em 2013 encontravam-se em

operação 5 406 autocarros, dos quais 1 273 foram produzidos entre 2002 e 2004. Esta classe representa 44,6% do total dos 12 111 autocarros, registados em Portugal, em actividade. O serviço ocasional de transporte, assegurado por autocarros com peso bruto superior a 18 t foi o menos poluente dos analisados ao longo da dissertação. Reservado a deslocações por aluguer ou serviços de transporte especial, do qual é exemplo o transporte de crianças até às escolas, apenas se registaram 395 veículos em funcionamento para assegurar as mesmas. Note-se que os autocarros urbanos articulados, anteriormente apontados como os mais poluentes por pkm efectuado, são a segunda classe que menos contribui para o passivo ambiental total no referido ano.

4. Resultados e discussão

Tabela 4.12 Pressão total referente ao transporte de passageiros no ano de 2013

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (dam ³ eq)	RE (t eq)	LU (ha.a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (g TCDD eq)	PWL (t N eq)
<= 15 t Urbano	Pré Euro	84,2	5 5856	28,2	6 422	294	2,52	664
	Euro I	78,2	4 742	27,2	5 201	231	2,09	635
	Euro II	86,1	5 074	30,0	5 453	239	1,86	698
	Euro III	79,5	6 712	38,3	7 386	331	2,96	900
	Euro IV	46,8	3 483	21,3	3 701	157	1,55	498
	Euro V	37,4	2 933	18,1	2 940	126	0,99	422
15-18 t Urbano	Pré Euro	210,4	15 314	78,1	17 504	819	6,55	1 681
	Euro I	195,9	13 394	75,8	14 729	650	5,79	1 613
	Euro II	215,8	14 371	83,6	15 516	679	5,27	1 774
	Euro III	198,4	18 925	106,8	20 862	928	8,20	2 286
	Euro IV	116,7	9 867	59,4	10 532	441	4,29	1 263
	Euro V	93,1	8 275	50,4	8 445	359	2,85	1 070
>18 t articulado	Pré Euro	33,0	3 980	20,2	4 605	220	1,46	278
	Euro I	30,2	3 441	19,6	3 833	171	1,21	260
	Euro II	33,2	3 701	21,6	4 067	182	1,17	285
	Euro III	31,9	4 861	27,6	5 419	243	1,86	369
	Euro IV	18,3	2 521	15,3	2 728	115	0,96	201
	Euro V	14,7	2 114	13,0	2 231	96	0,70	170
<=18 t Interurbano	Pré Euro	64,5	5 863	41,8	5 988	273	2,11	535
	Euro I	60,6	5 427	41,1	5 365	239	1,86	519
	Euro II	50,7	6 019	45,6	5 909	260	1,77	576
	Euro III	62,8	8 048	58,4	8 133	352	2,79	747
	Euro IV	37,5	4 493	32,9	4 494	185	1,55	420
	Euro V	30,0	3 780	27,9	3 656	149	1,07	355
15-18 t Ocasional	Pré Euro	32,9	4 891	29,6	5 446	267	1,44	278
	Euro I	35,6	5 046	33,9	5 399	246	1,38	304
	Euro II	54,9	7 659	52,7	8 090	371	1,91	468
	Euro III	71,8	12 382	81,9	13 248	594	3,54	793
	Euro IV	39,3	6 498	45,2	6 830	288	1,75	402
	Euro V	51,0	8 689	61,0	8 980	385	2,08	541
<=18 t Ocasional	Pré Euro	12,4	1 301	10,9	1 241	59	0,39	104
	Euro I	13,8	1 456	12,6	1 356	62	0,41	119
	Euro II	16,8	2 274	19,7	2 107	95	0,56	186
	Euro III	25,3	3 648	30,6	3 468	152	1,05	292
	Euro IV	14,8	2 030	17,0	1 923	80	0,58	162
	Euro V	19,0	2 716	22,9	2 487	98	0,65	218

4. Resultados e discussão

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (dam ³ eq)	RE (t eq)	LU (ha.a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (g TCDD eq)	PWL (t N eq)
<=18 t Expresso	Pré Euro	52,9	8 572	54,0	9 432	452	2,22	476
	Euro I	64,3	10 392	68,5	11 220	518	2,56	591
	Euro II	82,0	15 878	104,3	17 134	810	4,20	902
	Euro III	106,0	21 271	137,4	23 162	1 030	5,32	1 200
	Euro IV	48,9	9 568	60,3	10 482	437	2,43	533
	Euro V	66,6	13 421	85,7	14 462	572	3,06	752
Total		1 688,5	220 549	1 456,1	234 084	10 381	98,96	16 859

O valor total para emissões calculadas em 2013 por indicador foi o seguinte: 1,7 hm³ eq. de extracção de água; 221 kt eq. de recursos consumidos; 14,6 km².ano eq. de solos utilizados; 234 kt CO₂ eq. de gases com efeito de estufa emitidos; 10,4 kt NO_x eq. de poluentes atmosféricos libertados; 16,9 kt N eq. de poluentes lançados sobre o solo e cursos de água e 0,1 kg TCDD eq. de dioxinas e furanos emitidos para a atmosfera.

4.3.5 Comparação da pressão ambiental entre 2012 e 2013

À imagem do que foi feito para o subsector dos pesados de mercadorias, também para o transporte de passageiros se estudou a evolução da sua classe de transporte mais relevante. A classe escolhida foi a que inclui os autocarros urbanos com peso bruto entre as 15 t e as 18 t. A escolha da classe deve-se ao facto de ser a que regista maior fluxo diário de passageiros.

Existem múltiplas variáveis que determinam as diferenças observadas no desempenho da classe nos anos de 2012 e 2013. A Tabela 4.13 apresenta dados relativos à actividade da classe. O fluxo de passageiros é o factor-chave na expressão dessas diferenças, na medida em que influencia o número de veículos utilizados, total de passageiros transportados, número de serviço efectuados ou taxa de ocupação média por deslocação.

Tabela 4.13 Actividade da classe 15-18 t em 2012 e 2013 (Fonte: adaptado de IMTT, 2014; INE, 2013; INE, 2014)

Ano	Passageiros quilómetro alocados a cada classe (10 ⁶ pkm)	Número de serviços efectuados (10 ³ serviços)	Passageiros transportados (10 ³ passageiros)	Taxa de ocupação (%)
2012	1 562	8 175	315 755	47,1
2013	1 407	8 155	283 565	42,4

Houve uma diminuição em 2013 face ao ano anterior no que toca ao número de passageiros a utilizar o transporte urbano rodoviário. Verificam-se igualmente reduções no número de serviços e pkm efectuados (INE, 2013; INE, 2014). Também a taxa de ocupação decresceu cerca de 4,7%, significando que o desempenho do veículo por pkm é pior em 2013 para qualquer um dos indicadores *EcoBlok*. O número de veículos em operação é superior em 2012 conforme demonstra a Tabela 4.14, sendo que em 2013 circularam menos 453 autocarros urbanos.

Tabela 4.14 Agregação do total de pesados de mercadorias da classe 15-18 t em actividade nos anos de 2012 e 2013 (Fonte: adaptado de IMTT, 2014; INE, 2013; INE 2014)

	Euro V	Euro IV	Euro III	Euro II	Euro I	Pré Euro	Total
2012	599	768	1 403	1 140	1 008	940	5 858
2013	609	717	1 273	998	900	908	5 405

4. Resultados e discussão

Como seria de esperar em função do menor uso dos articulados em 2012, houve um claro aumento da frota utilizada no ano posterior de modo a responder às necessidades logísticas. Convém então perceber como se traduz esta situação em termos de pressões ambientais por cada um dos indicadores *EcoBlok* aplicados. O consumo de recursos e as emissões de GEE destacam-se como os dois indicadores nos quais se verifica uma maior expressão na diferença entre as pressões dos dois anos em comparação. Perante a evolução do fluxo de passageiros em autocarros urbanos é possível prever uma redução das pressões ambientais associadas ao subsector. Através da Tabela 4.15 é possível observar-se a evolução das mesmas em cada dos sete indicadores.

Tabela 4.15 Comparação entre as pressões ambientais associadas à classe 15-18 t nos anos de 2012 e 2013

Ano	Norma Euro	WA (dam ³ eq)	RE (t eq)	LU (ha.a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (g TCDD eq)	PWL (t N eq)
2012	Pré Euro	214	14 781	76	16 835	794	6,8	1 707
	Euro I	216	14 014	80	15 354	677	6,2	1 775
	Euro II	243	15 348	89	16 500	719	5,8	1 993
	Euro III	214	19 488	110	21 408	951	8,1	2 477
	Euro IV	123	9 891	60	105 91	441	4,6	1 331
	Euro V	90	7 619	46	7 723	328	2,7	1 036
2013	Pré Euro	210	15 314	78	17 504	819	6,6	1 681
	Euro I	196	13 394	76	14 729	650	5,8	1 613
	Euro II	216	14 371	84	15 516	679	5,3	1 774
	Euro III	198	18 925	107	20 862	928	8,2	2 286
	Euro IV	117	9 867	59	10 532	441	4,3	1 263
	Euro V	93	8 275	50	8 445	359	2,9	1 070
Total 2012		1 100	81 141	461	88 339	3 909	34	10 321
Total 2013		1 030	80 146	454	87 588	3 877	33	9 686
Diferença		- 70	- 995	- 7	- 751	- 32	- 1	- 635

A redução do passivo ambiental relativo ao transporte rodoviário é uma situação positiva. No entanto importa reflectir acerca dos resultados obtidos tendo em consideração os padrões actuais da sociedade. O abrandamento do transporte colectivo em 2013 pode estar relacionado com um aumento do transporte rodoviário individual, situação negativa do ponto de vista ambiental na medida em que este se revela mais nefasto para o ambiente. A tendência apresentada para a classe aqui analisada é verificada em todas as restantes incluídas neste estudo. O número de passageiros em 2013 desceu 10,1% face ao ano anterior.

4.4 Sensibilidade dos resultados

A realização de uma ACV exige a adopção de pressupostos para a obtenção dos resultados finais. Para o caso específico do transporte rodoviário existem inúmeros factores cujo grau de complexidade e variabilidade os torna muito difíceis de integrar nos diversos inventários de ciclo de vida construídos. O processo de utilização dos veículos, designado de circulação nas figuras dos Capítulos 4.2 e 4.3, é o mais evidente exemplo do que foi afirmado na frase anterior. Existe uma constante variação de velocidade e declive face aos valores

médios assumidos, sendo que o peso transportado tende a variar mediante várias condicionantes.

Desta forma surge a necessidade de elaborar uma análise de sensibilidade a parâmetros tidos como relevantes na caracterização do desempenho ambiental dos veículos pesados. Uma das fontes de incerteza averiguadas prende-se com a topografia do terreno que suporta as infra-estruturas rodoviárias. São então avaliados os consumos de combustível, emissões de poluentes e de GEE em situações de descida, terreno plano e de subida com diferentes percentagens de inclinação.

A velocidade de circulação é um factor crucial no desempenho ambiental de um veículo de elevado peso bruto, seja o seu conteúdo constituído por passageiros ou mercadorias. Para este caso concreto foram designados valores de velocidade consistentes com o tipo de veículo, o seu âmbito de operação e verificados os seus níveis de emissões e consumo de gasóleo mediante tais condições.

A eficiência da ocupação do veículo é igualmente averiguada no decorrer do exercício de análise de sensibilidades referentes à actividade de cada um dos subsectores avaliados ao longo da dissertação. Embora o factor de carga acondicionada em cada veículo tenha influência directa no seu funcionamento e respectivas pressões por veículo quilómetro, importa perspectivar de que forma o aumento ou diminuição da carga média transportada por quilómetro e, consequentemente do valor de normalização tkm ou pkm, irá afectar as várias fases consideradas no ciclo de vida do veículo.

Perante a existência de variantes entre os dois tipos de transporte pesado optou-se pela divisão da apresentação em dois capítulos distintos. Em cada capítulo apenas é utilizada uma das classes de peso bruto de referência.

4.4.1 Transporte pesado de mercadorias

A avaliação da sensibilidade em pesados de mercadorias foca-se na classe rígida de peso bruto entre 14 t e 20 t. Justifica-se a escolha pela representatividade da classe no total de tkm movimentadas no ano de 2013, logística de transporte pouco eficiente e pelo facto de a referida classe poder ser utilizada tanto em serviços locais, em percursos urbano como para longas distâncias. A Tabela 4.16 faz um breve resumo dos vários testados ao longo deste exercício.

Tabela 4.16 Cenários de análise de sensibilidade testados para pesados de mercadorias

Parâmetro avaliado	Variações	Caracterização
Declive	-6%	Funcionamento do camião de acordo com o declive
	-4%	
	-2%	
	0%	
	2%	
	4%	
	6%	
Velocidade	30 km/h	Funcionamento do camião de acordo com a velocidade
	50 km/h	
	86 km/h	
	100 km/h	
Factor de carga	10%	Funcionamento do camião de acordo com factor de carga
	30%	
	54%	
	70%	
	90%	
	100%	

Sensibilidade à variação do declive

Para avaliar o impacto do declive no desempenho ambiental de um camião com uma tara aproximada de 10 t foram estabelecidos os valores de velocidades e de carga médios, sendo o veículo utilizado para testar a sensibilidade aos valores calculados de norma de emissão Euro III.

A Figura 4.15 demonstra a tendência de evolução das emissões de CO₂, NO_x e CO consoante a inclinação do terreno percorrido. Declives positivos são associados a subidas que exigem maior débito de potência por parte do veículo de modo a manter a velocidade ao longo das mesmas. O aumento do consumo de combustível é uma natural consequência desse aumento de potência, bem como das emissões de CO₂, que dependem directamente desse consumo.

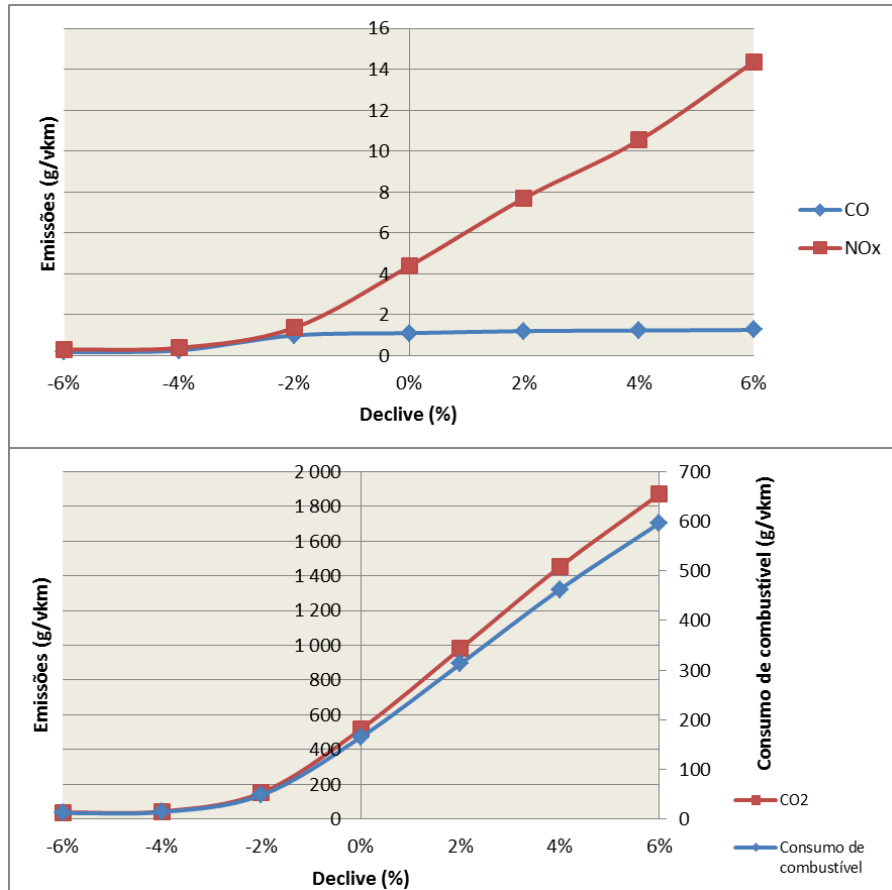


Figura 4.15 Emissões e consumos de combustível em função do declive em pesados de mercadorias

As emissões de NO_x aumentam acentuadamente quando comparadas com as de CO. Ambos são poluentes atmosféricos relevantes. As duas primeiras directivas estabelecidas pela UE, materializadas em motores Euro I e Euro II focavam-se essencialmente na redução das emissões de monóxido de carbono, dado o seu prejuízo no ambiente e saúde pública. Posteriormente a norma Euro III permitiu uma redução de 30% em todas as emissões gasosas, incluindo o CO novamente (EEA, 2014). Os mecanismos mais eficazes dos motores Euro III para controlo de emissões de CO ajudam a esclarecer a diferença existente entre as quantidades de CO e NO_x emitidas.

A Figura 4.16 expõe a integração da variação de emissões verificada anteriormente no inventário referente ao processo de condução do pesado. É perceptível o efeito da topografia das estradas nas pressões por tkm, tendo maior expressão nos indicadores RE, GHG e PA, os dois últimos devido aos gases de exauste e queima de combustível emitidos.

4. Resultados e discussão

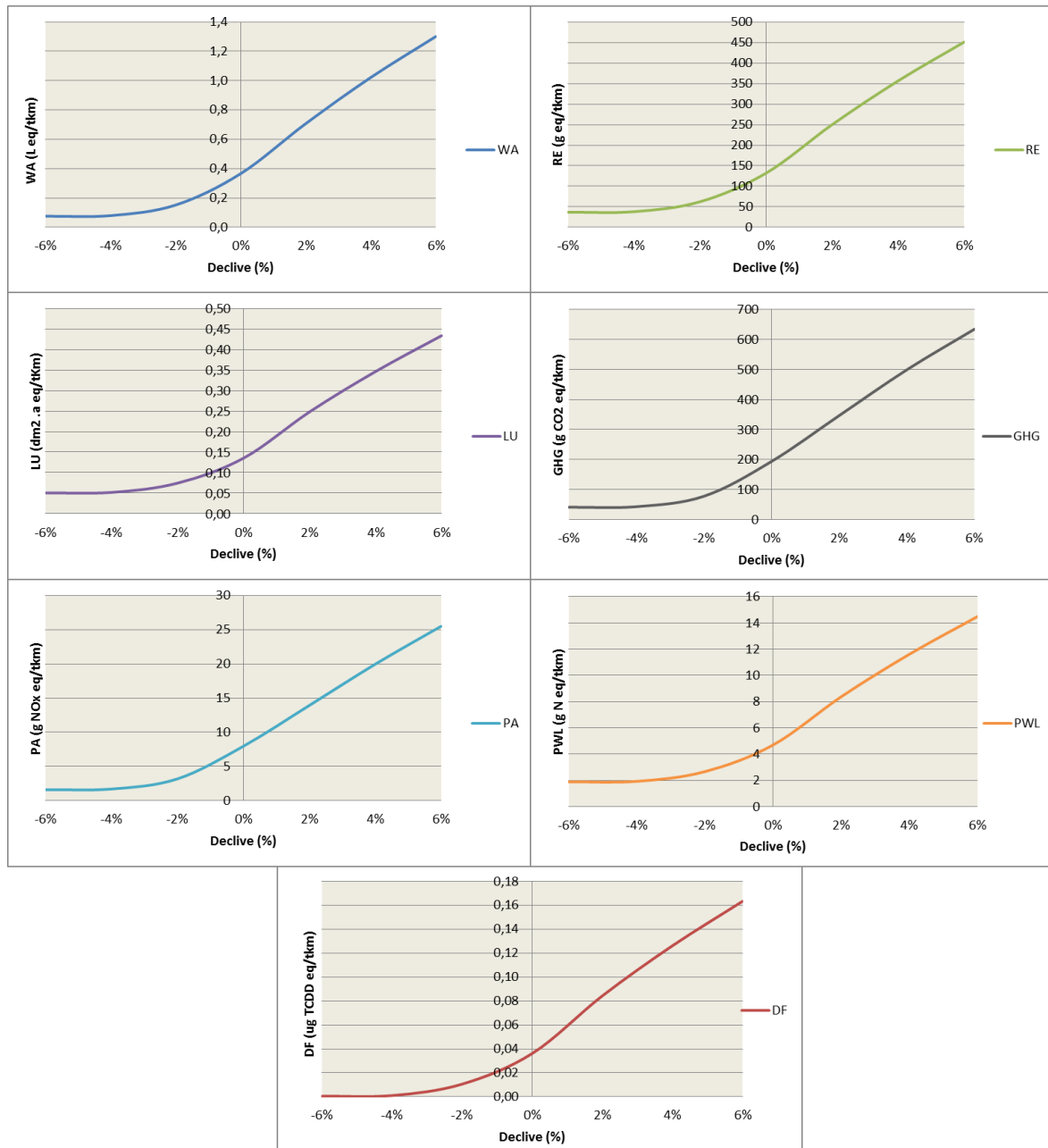


Figura 4.16 Pressões por indicador *EcoBlok* na operação de circulação a diferentes declives em pesados de mercadorias

O aumento da extracção de água (WA), consumo de recursos (RE), uso dos solos (LU) e emissões de poluentes para solo e água deve-se ao ciclo de vida da fonte de energia, gasóleo, especialmente dos processos de extracção, produção de petróleo e refinação do combustível ocorrido a montante da utilização final. O aumento do consumo é natural consequência do aumento do declive, promovendo este um agravamento das pressões identificadas no ciclo de vida do combustível. A presente análise permite aferir acerca da importância que o tipo de percurso tem no desempenho ambiental de um veículo pesado de mercadorias.

Sensibilidade à variação da velocidade

Velocidade de condução é um parâmetro de modelação complexa. Este factor depende do perfil de condução da pessoa designada para o serviço de transporte e de toda a envolvente na qual se enquadra a viatura, sendo o tipo de estrada ou as condições atmosféricas exemplos de variáveis chave dessa envolvente. A Figura 4.17 exhibe a evolução das emissões em função dos valores de velocidade assumidos.

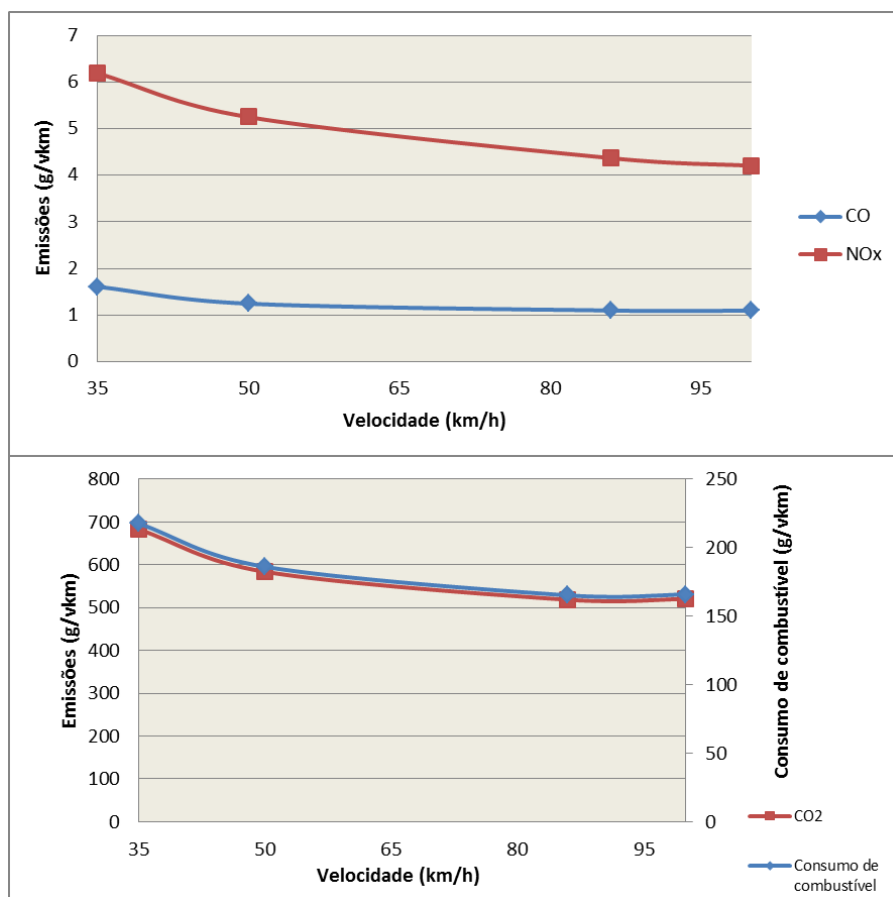


Figura 4.17 Emissões e consumos de combustível em função da velocidade em pesados de mercadorias

A observação de ambos os gráficos permite concluir que o aumento da velocidade leva à melhoria de emissões de consumos de combustíveis até aos 86 km/h, velocidade média determinada para a classe 14-20 t. As emissões de CO₂ decrescem de 682 g/vkm para um mínimo de 518 g/vkm a uma velocidade de 86 km/h. A tal se deve a redução do consumo de gasóleo para 165 g/vkm à mesma velocidade. Porém, o aumento até aos 100 km/h promove a ocorrência de efeitos distintos entre as emissões apresentadas. Enquanto que se verifica um aumento do combustível consumido e, consequentemente, das emissões de CO₂, o mesmo não acontece com os poluentes atmosféricos.

A relação entre o binário e velocidade do motor, medida em rotações por minuto (rpm) é crucial para o consumo de combustível. O motor *diesel* com elevado binário atinge o seu ponto de máxima eficiência a velocidades próximas dos 86 km/h, registando nesse ponto os seus valores mínimos de consumo. O aumento da velocidade promove a melhoria da relação entre ambos os factores, desde que com passagens de caixa adequadas. Contudo, a velocidades para além dos 90 km/h a potência do veículo sobrepõe-se em prejuízo da eficácia, provocando um aumento dos consumos (Sandberg, 2001). Por outro lado, a diminuição de NO_x em função do aumento da velocidade explica-se pelo facto da queima de combustível ser completa a maiores potências, devido às elevadas temperaturas na câmara de combustão. As emissões do poluente descem até aos 4,2 g/vkm de NO_x e 1,1 g/vkm de CO para uma velocidade de 100 km/h.

A Figura 4.18 reforça a tendência mencionada anteriormente. O facto de se estar a contabilizar as pressões em função da mudança de velocidade para um declive neutro explica a não observação de uma diferença substancial na grandeza dos valores de pressão. Com declives médios superiores as discrepâncias seriam superiores.

4. Resultados e discussão

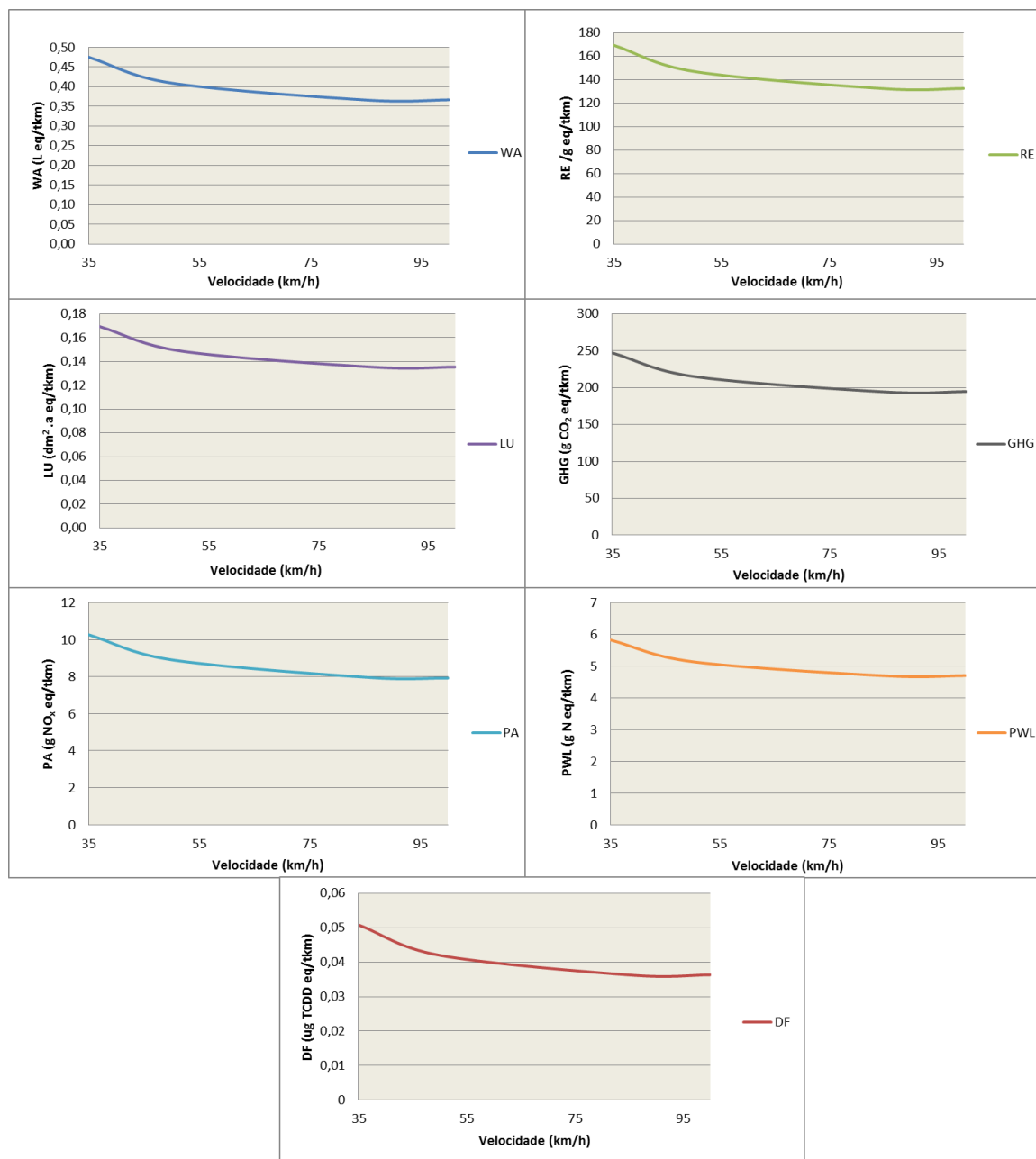


Figura 4.18 Pressões por indicador *EcoBlok* na operação de circulação a diferentes velocidades em pesados de mercadorias

O tipo de percurso no qual se efectua o transporte é fundamental na velocidade média praticada. Itinerários urbanos com velocidades médias mais reduzidas e maior inconstância da marcha traduzem-se em consumos de combustíveis e emissões para o ambiente superiores. Esta situação agrava-se em camiões de maiores dimensões, visto que operam a velocidades ainda mais reduzidas de modo a manter a segurança rodoviária. Embora a normalização através da unidade funcional tkm não o demonstre, camiões de maiores dimensões produzem um transporte com maior impacte em percurso urbano. A utilização da unidade funcional vkm (veículo-quilómetro) comprova esta situação. Em percursos longos e através da utilização de auto-estradas, onde é possível manter uma velocidade média próxima do ponto de máxima

eficiência do motor assegurando um considerável volume de carga transportada, veículos de elevados pesos brutos são a opção mais viável.

Sensibilidade à variação da carga transportada

O factor de carga inserido em cada camião de mercadorias é o terceiro parâmetro chave cujos valores obtidos são sujeitos a uma análise da sensibilidade. No entanto, o factor carga tem dupla importância para a presente análise. Por um lado condiciona as emissões e consumos contabilizados durante a etapa de circulação devido ao acréscimo ou diminuição de carga transportada, com impacte directo no processo de utilização. Todavia, a importância do factor de carga estende-se ao resto do ciclo de vida do produto analisado, uma vez que altera o valor de normalização que serve como quociente na divisão das pressões pela unidade funcional tkm.

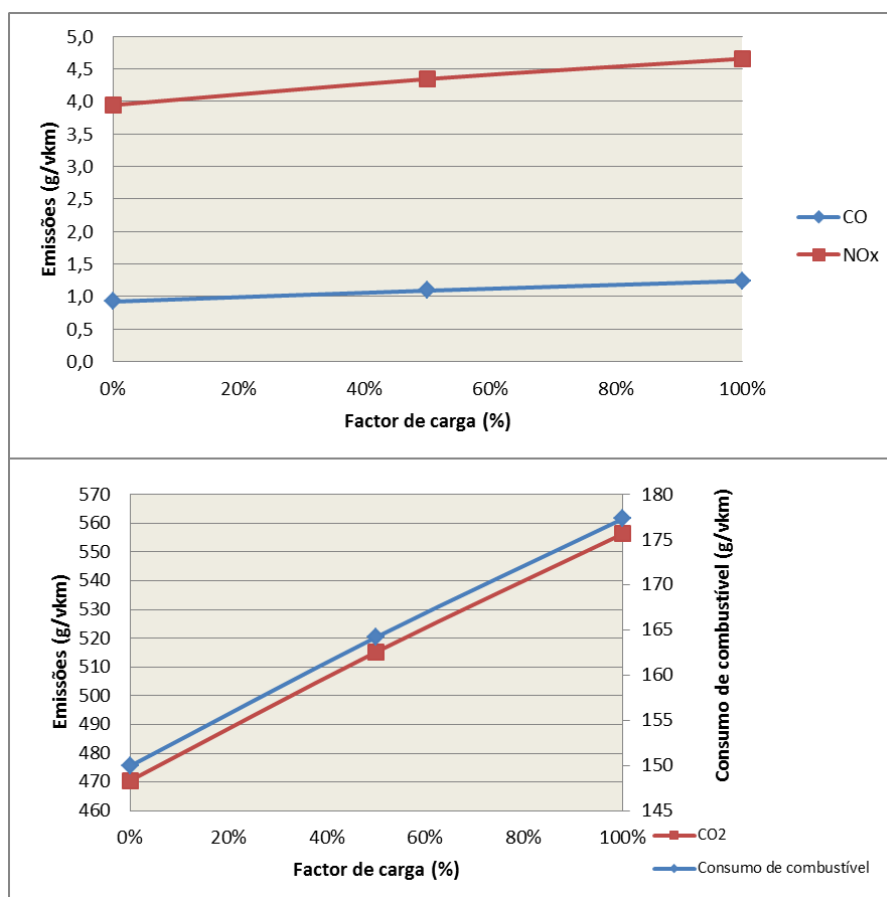


Figura 4.19 Emissões e consumos de combustível em função do factor de carga em pesados de mercadorias

Através da Figura 4.19 se compreende a evolução das emissões de monóxido de carbono, óxidos de azoto, dióxido de carbono e o consumo de combustível em função da carga transportada por vkm percorrido. O aumento verificado é espectável dada a relevância do conteúdo transportado no desempenho ambiental e eficiência dos veículos. Os valores de

4. Resultados e discussão

emissões de CO₂ aumentam até valores de 556 g/vkm como consequência do aumento do consumo de gasóleo até aos 177 g/vkm num camião totalmente carregado. Semelhante tendência é verificada em relação aos poluentes atmosféricos, com os valores de NO_x a evoluírem dos 3,9 g/vkm a 0% de carga para 4,7 g/vkm a 100% de carga. A quantidade de CO eleva-se até aos 1,2 g/vkm num cenário de total preenchimento da carga útil disponível no camião.

A seguinte figura demonstra a evolução das pressões ao longo do ciclo de vida, por indicador *EcoBlok* promovidas através da alteração do valor de pkm efectuados e, consequentemente, da carga média transportada para as percentagens de ocupação do camião.

4. Resultados e discussão

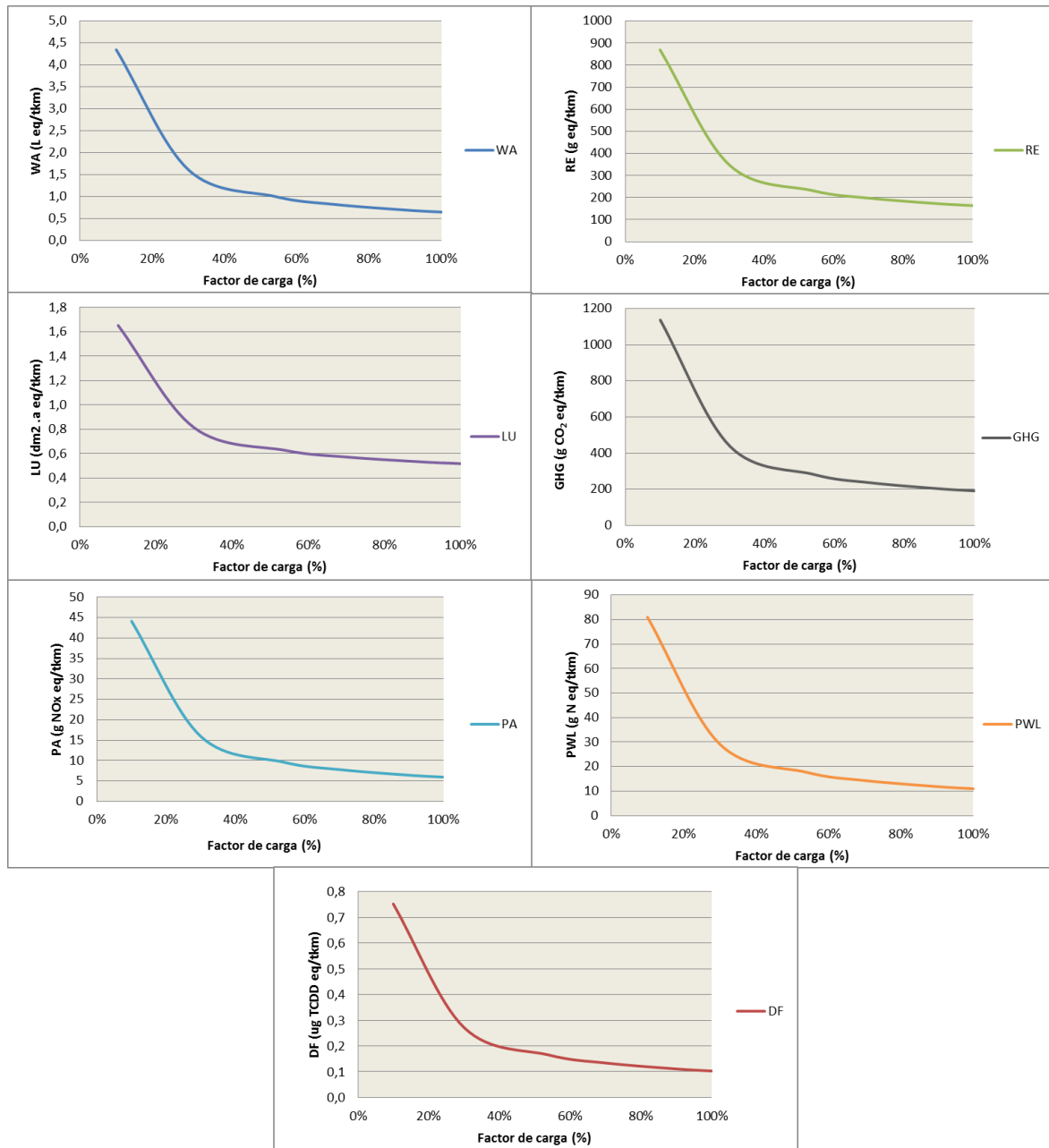


Figura 4.20 Pressões por indicador *EcoBlok* ao longo do ciclo de vida com diferentes factores de carga em pesados de mercadorias

A comparação entre as Figuras 4.19 e 4.20 permite concluir que o passivo ambiental produzido por um veículo a operar com níveis de carga inferiores é superior ao verificado com 100%. Para o veículo tomado como referência na presente análise, 100% de carga equivale a 6,8 t, enquanto que 10% equivale apenas a 0,68 t. Note-se que 54% corresponde ao factor de carga médio registado pela classe em Portugal no ano tomado como referência para o estudo.

Os resultados obtidos vêm, mais uma vez, reforçar o raciocínio anteriormente apresentado e que assenta no facto de que uma gestão eficaz gestão logística do transporte de

mercadorias permite uma redução bastante significativa dos impactes ambientais associados à actividade.

4.4.2 Transporte pesado de passageiros

Para a análise de sensibilidade aos factores de operação do transporte pesado de passageiros recorreu-se à classe de autocarros urbanos entre 15 t e 18 t, justificando-se a sua nomeação pelo elevado número de passageiros transportados anualmente, número de veículos activos em Portugal e pelo facto da actual afluência de passageiros ao transporte colectivo estar longe de ser a ideal do ponto de vista ambiental. A Tabela 4.17 resume os cenários introduzidos ao longo deste exercício.

Tabela 4.17 Cenários de análise de sensibilidade testados para pesos de passageiros

Parâmetro avaliado	Variações	Caracterização
Declive	-6%	Funcionamento do autocarro de acordo com o declive
	-4%	
	-2%	
	0%	
	2%	
	4%	
	6%	
Velocidade	15 km/h	Funcionamento do autocarro de acordo com a velocidade
	30 km/h	
	50 km/h	
	86 km/h	
Taxa de ocupação	10%	Funcionamento do autocarro de acordo com a taxa de ocupação
	30%	
	42%	
	70%	
	90%	
	100%	

Sensibilidade à variação do declive

À semelhança do procedimento adoptado para o Capítulo 4.4.1, também aqui são usados os valores médios de velocidade, declive e carga, variando apenas um dos parâmetros de cada vez. O veículo tomado como referência é referente à norma Euro III, a norma mais frequentemente observada em Portugal no ano de 2013.

A Figura 4.21 evidencia o efeito do declive sobre o desempenho de um autocarro urbano, com uma de tara 11,6 t. O consumo de combustível, que ronda os 417 g/vkm em

declives nulos sobe até a valores de 811 g/vkm em inclinações de 6%, enquanto em descidas mais acentuadas se verifica um consumo muito inferior, cerca de 190 g/vkm. As emissões de CO₂ seguem o mesmo padrão de evolução, uma vez que estão dependentes directamente do combustível queimado.

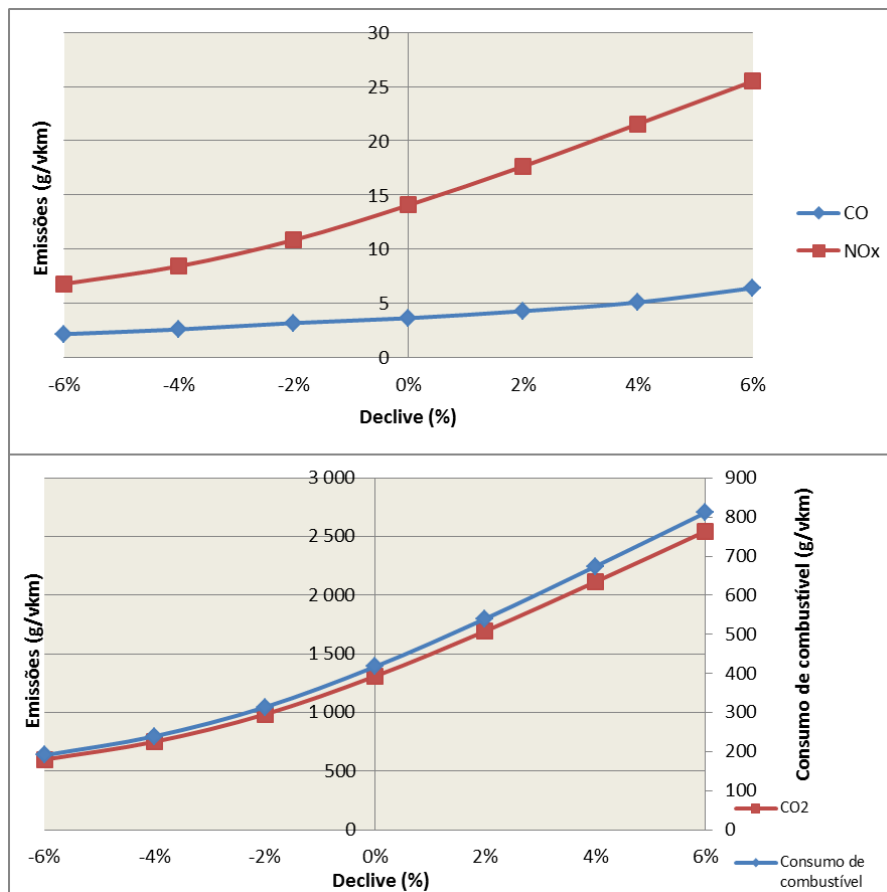


Figura 4.21 Emissões e consumos de combustível em função do declive em pesados de passageiros

As quantidades de CO e NO_x também aumentam perante troços de subida. A manutenção da velocidade média por parte de veículos com pesos brutos elevados em troços com declives positivos exigem o aumento da potência debitada pelo motor, sendo que esta situação promoverá um incremento das emissões dos referidos poluentes, promovida por elevadas potências a baixas velocidades.

A Figura 4.22 pretende dar a conhecer a evolução das pressões ambientais na fase de operação de acordo com a variação da topografia do terreno. Optou-se apenas por estudar a sensibilidade das pressões à variação do declive na fase de circulação do veículo, pois é nessa fase que se verificam os efeitos das referidas variações.

4. Resultados e discussão

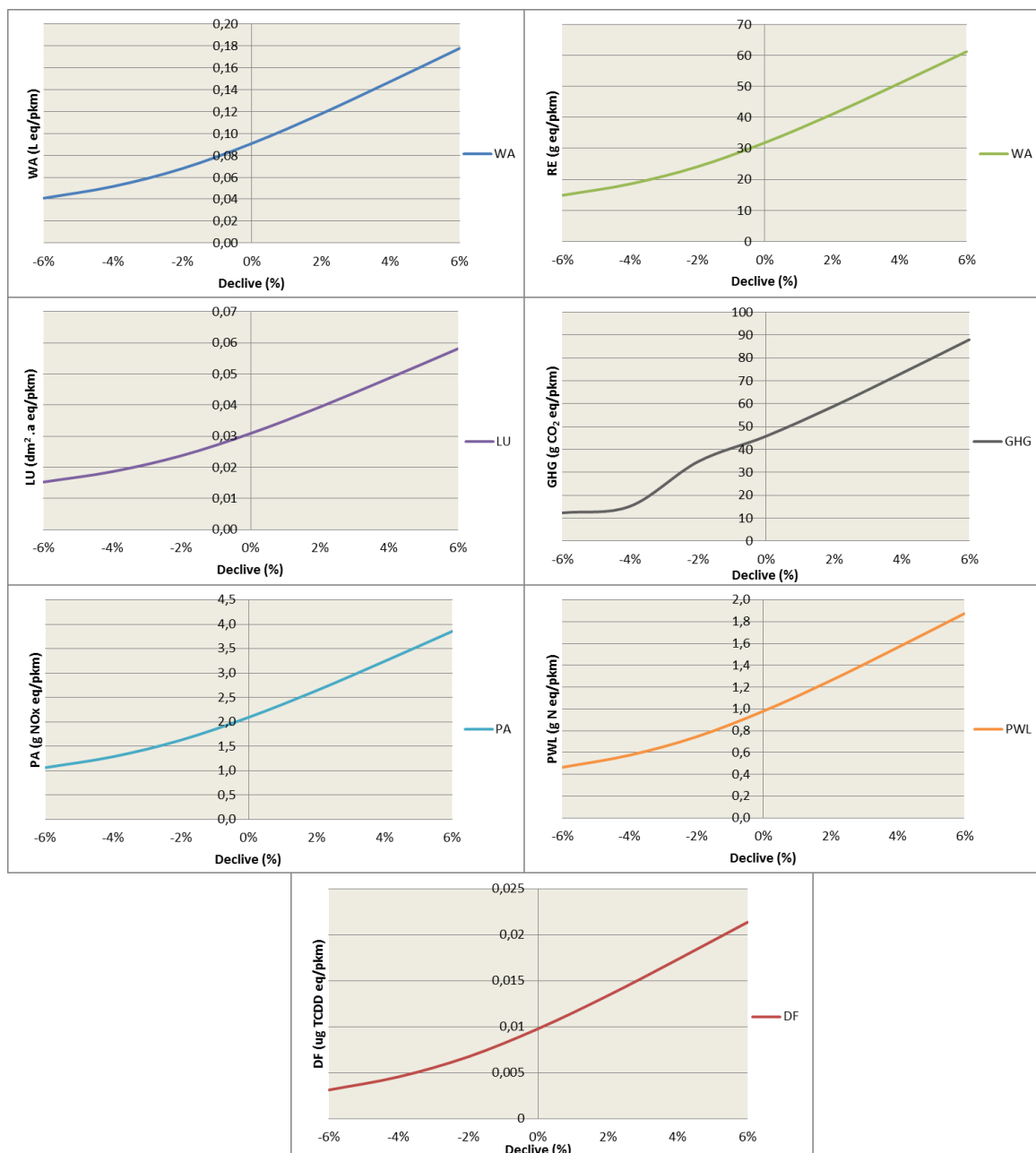


Figura 4.22 Pressões por indicador *EcoBlok* na operação de circulação a diferentes declives em pesados de passageiros

Em todos os indicadores *EcoBlok* se registam agravamentos das pressões por pkm, à medida que sobe o declive. O ciclo de vida do combustível, inserido no processo de utilização do veículo, tem grande influência nas alterações verificadas nos indicadores RE, LU ou PA. As fases de extração, produção e transporte de petróleo, recurso considerado escasso, têm impactes ambientais consideráveis. A esses impactes deve-se somar os referentes à refinação, processo que muitas vezes tem lugar já em território nacional (Lopes, 2014). O indicador GHG deve às emissões de CO₂ resultantes da queima de combustível grande parte das emissões contabilizadas. Importa ainda ter em conta a libertação de CH₄ ou N₂O, cujo factor de equivalência é superior ao do CO₂, fruto de um maior potencial de aquecimento global. Todavia

a abundância destes é muito reduzida face ao CO_2 , sendo esta a principal razão para a sua expressão secundária no indicador. Este exercício considera-se especialmente útil em autocarros designados para prestação de serviços de transporte no interior de centros urbanos, nos quais a flutuação da topografia do terreno é considerável.

Sensibilidade à variação da velocidade

O serviço de transporte colectivo rodoviário urbano caracteriza-se pela prática de velocidades médias reduzidas, constantes variações do ritmo de marcha e diversas paragens, típicas do tráfego automóvel urbano. Para além dos factores referidos existem vários outros que condicionam o desempenho do veículo através da velocidade, com é o caso do modo de condução praticada pelo condutor. Na Figura 4.23 exibe-se a evolução do desempenho ambiental do autocarro urbano em função de diferentes níveis de velocidade praticados.

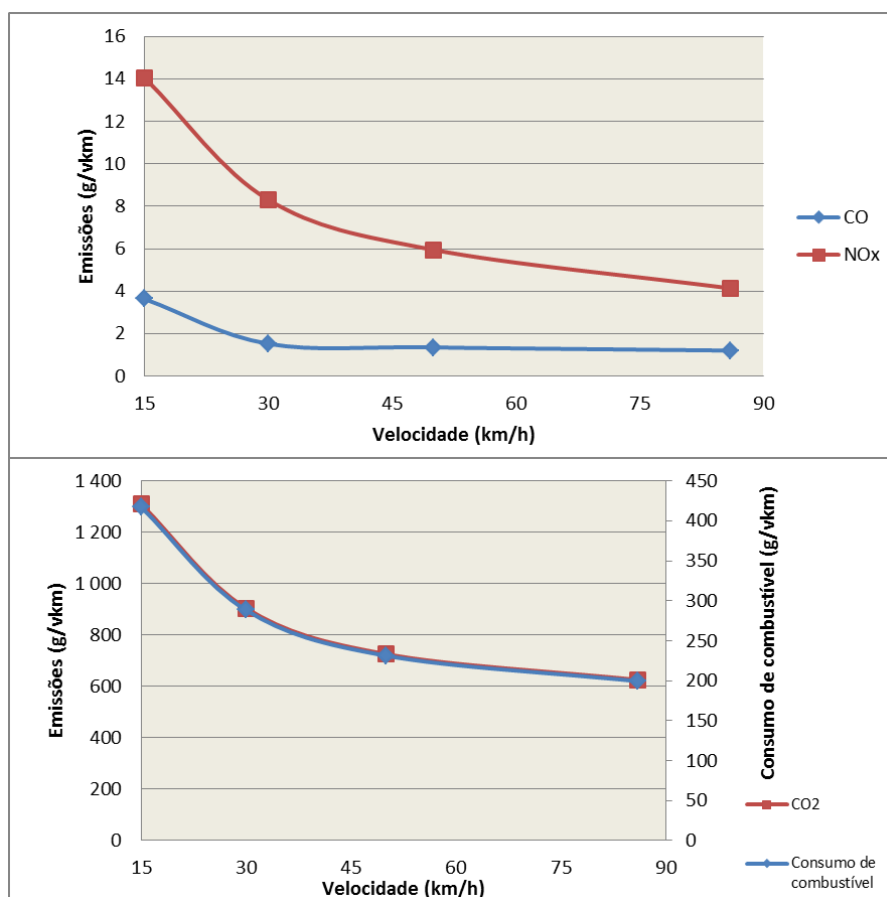


Figura 4.23 Emissões e consumos de combustível em função da velocidade em pesados de passageiros

Verifica-se que à medida que a velocidade aumenta existe um decréscimo dos gases emitidos e gasóleo despendido. Limitou-se o estudo até a uma velocidade de 86 km/h, pois é este o limite de velocidade para o qual a base de dados Artemis modela emissões sem margem de erro considerável. Mais ainda, o tipo de serviço aqui analisado raramente permite a

circulação dos autocarros a velocidade superiores aos 50 km/h, valor máximo legal permitido em centros urbanos.

A base científica por detrás do declínio das pressões ambientais por quilómetro percorrido foi descrita anteriormente e assenta na mecânica do motor *diesel*, cuja combinação entre o binário e velocidade do motor, ou potência, determina o consumo de gasóleo e libertação CO₂ a distintas velocidades. A 15 km/h, velocidade média praticada pelos autocarros urbanos (Gomes, 2011) registam-se consumos de 417 g/vkm que baixam até aos 231 g/vkm para 50 km/h. Importa referir o consumo de combustível que se verifica à velocidade média se traduz em mais de 1 kg de CO₂ emitido por quilómetro transitado. A 86 km/h verificam-se valores sensivelmente inferiores a 200 g/vkm. Também as emissões de metais pesados como zinco, mercúrio, chumbo ou crómio são directamente proporcionais aos gastos de gasóleo (EEA, 2014). Relativamente aos poluentes atmosféricos, denota-se uma semelhante tendência de redução proporcional ao aumento da velocidade, com o NO_x a decrescer cerca de 8 g/vkm e o CO a baixar para valores inferiores aos 2 g/vkm.

4. Resultados e discussão

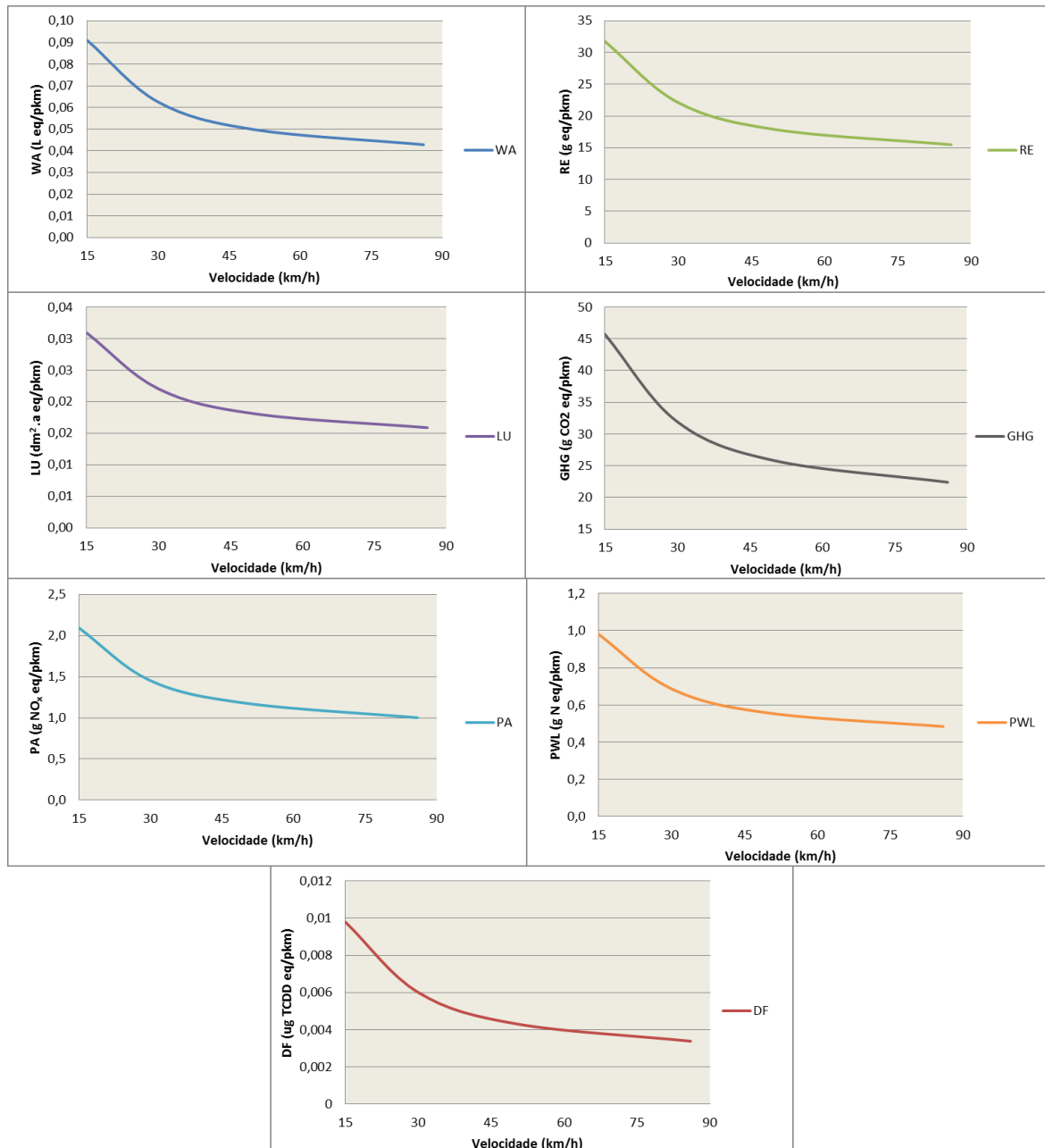


Figura 4.24 Pressões por indicador *EcoBlok* na operação de circulação a diferentes velocidades em pesados de passageiros

A Figura 4.24 segue a lógica acima debatida na qual se relaciona a operação a velocidades reduzida com pressões ambientais mais elevadas. Avaliando os impactes à luz dos sete indicadores *EcoBlok* conclui-se que um possível aumento da velocidade média praticada por autocarros urbanos resultaria numa importante melhoria do desempenho ambiental do subsector por pkm percorrido. A implementação de corredores de tráfego exclusivos à circulação de autocarros é uma solução plausível e existente nos grandes centros urbanos. Todavia, esta solução carece de planeamento meticuloso, de modo a promover harmonia no tráfego e, conseqüente optimização do trânsito urbano (Neves, 2006).

Sensibilidade à variação da taxa de ocupação

Esta análise de sensibilidade específica apresenta algumas diferenças face às duas anteriores, na medida em que pretende abranger todas as fases do ciclo de vida na mesma. Na base deste procedimento está o facto da variação do número de passageiros transportados ser essencial na normalização das pressões de todos estágios considerados no ciclo de vida da unidade de transporte.

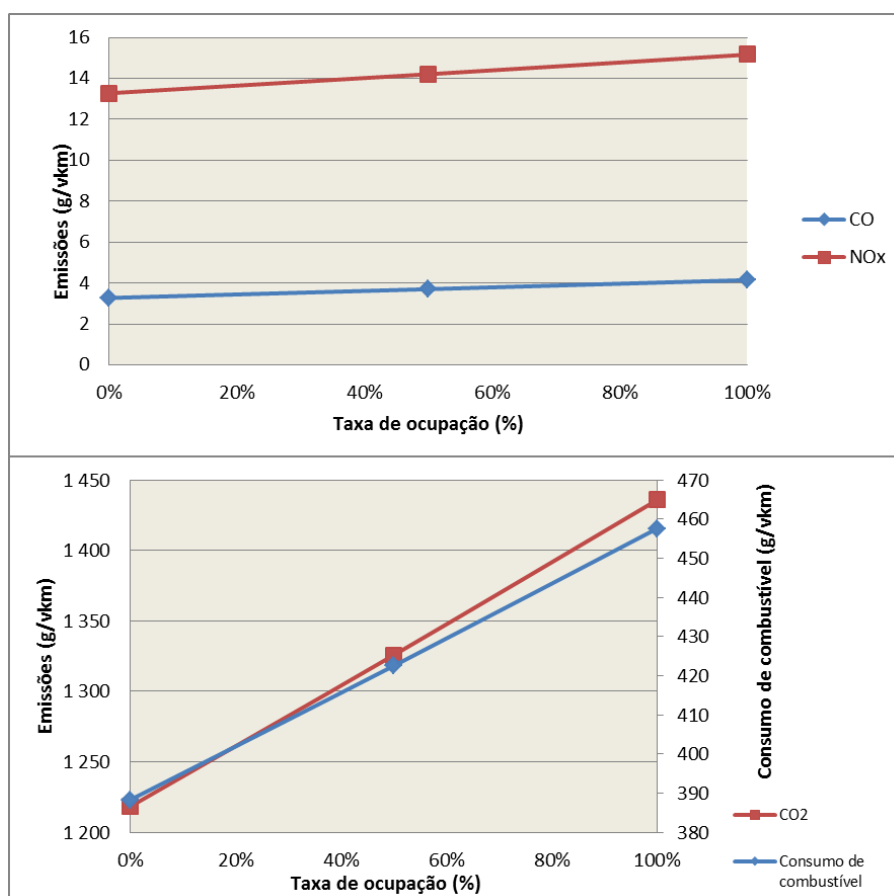


Figura 4.25 Emissões e consumos de combustível em função da taxa de ocupação em pesados de passageiros

Através da observação da figura acima se constata um agravamento das emissões promovidas pelo aumento do número de passageiros transportados por vkm. A questão essencial para uma correcta estimativa das pressões ambientais geradas pelo transporte passa por avaliar o desempenho da actividade através da eficiência do serviço, ou seja, distribuindo as pressões pelos passageiros. A Figura 4.26 formaliza a análise mencionada, a qual permite obter conclusões efectivas acerca das vantagens provenientes de uma sólida política de incentivo ao transporte público rodoviário.

4. Resultados e discussão

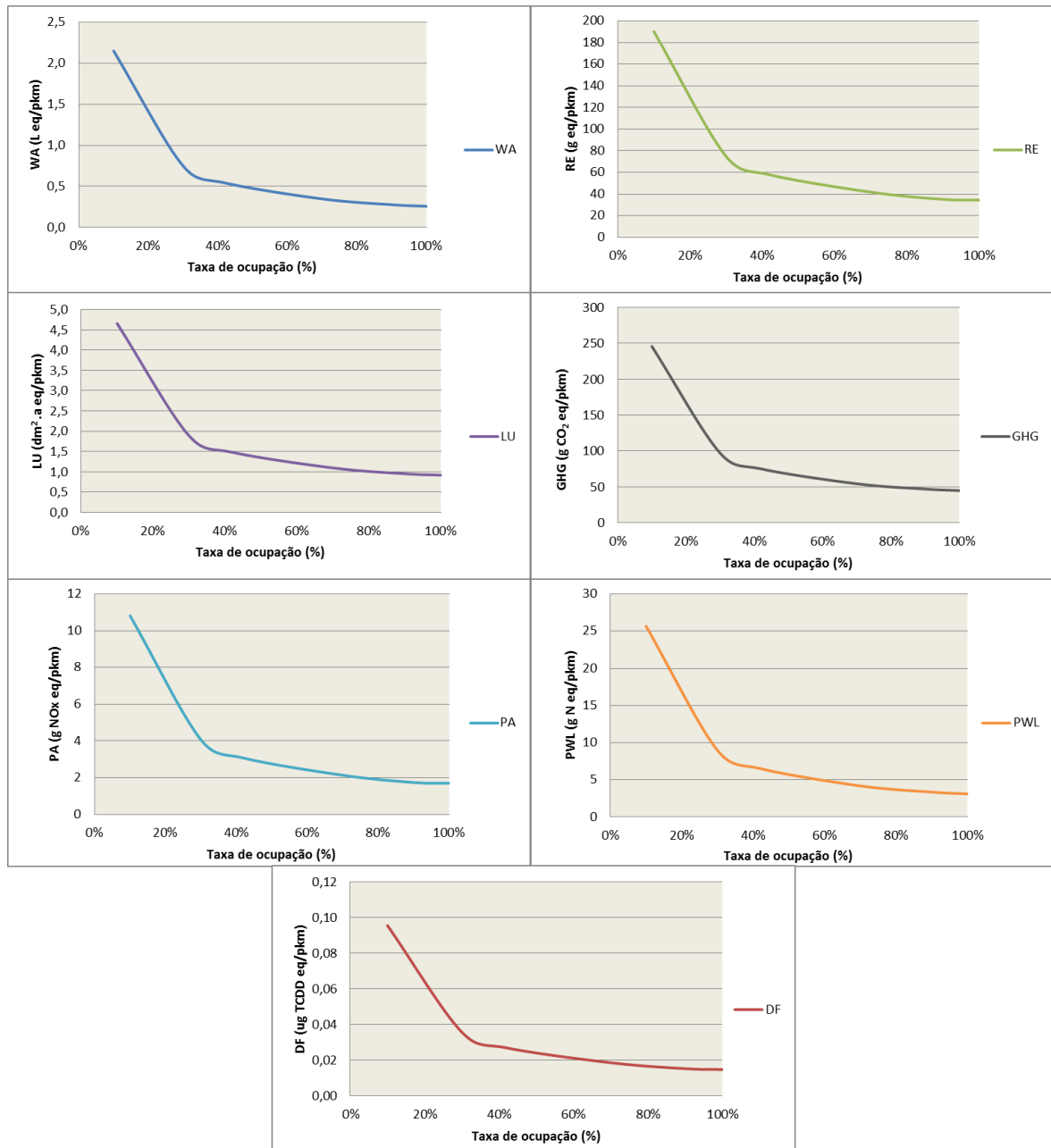


Figura 4.26 Pressões por indicador *EcoBlok* ao longo do ciclo de vida com diferentes taxas de ocupação em pesados de passageiros

Destaca-se a forte penalização que o uso do veículo com 10% da sua lotação tem quando comparado com taxas de ocupação mais elevadas. A taxa de ocupação de 10% prevê apenas 8,2 passageiros e o funcionamento a 100% uma ocupação de 82 passageiros pelos quais se dividem as pressões ambientais geradas por quilómetro percorrido. Para a classe de serviço urbana tomada como referência no desenvolvimento da presente análise de sensibilidades, a ocupação média registada no ano de 2013 foi de 35 pessoas que correspondem a 42% da capacidade total do veículo.

Um estudo produzido por Chester (2008) corrobora a análise efectuada. A ACV feita pelo autor aos diversos modos de transporte de passageiros nos Estados Unidos reporta diferenças substanciais no desempenho ambiental de autocarros a operar em hora de ponta e em horários de fluxo reduzido. Com uma afluência de passageiros perto do limite máximo, o autor contabilizou emissões de 59 g CO₂ eq./pkm contra emissões de 475 g CO₂ eq./pkm no modo de operação em horário que não sejam de grande fluxo de passageiros. Na presente análise, para o indicador destinado ao estudo das emissões de GEE regista-se semelhante tendência de evolução das pressões por pkm, sendo que um cenário de 100% de afluência, o valor é de 45 g CO₂ eq./pkm.

Reconhece-se aos resultados apresentados e considerações produzidas relevância para a sustentação científica na elaboração de medidas de promoção do transporte colectivo urbano.

4.5 Situações de transporte de mercadorias típicas de Portugal

4.5.1 Mercadorias transportadas em cidade

Embora já se tenha desenvolvido uma análise à resposta ambiental dada pelos veículos à variação do declive das estradas, falta verificar o desempenho do veículo em perfis topográficos típicos das principais cidades portuguesas. Para o transporte de mercadorias a corrente análise engloba o desempenho de um camião rígido nas duas cidades portuguesas que maior fluxo de veículos registam diariamente. Os perfis topográficos de Lisboa a Porto são apresentados na Tabela 4.18

Tabela 4.18 Perfil topográfico aproximado de Lisboa e Porto, apresentado por percentagem de frequência de declives (Fonte: adaptado de CMLisboa, 2010; Pinho, 2010)

Declive	-6%	-4%	-2%	0%	2%	4%	6%
Lisboa (%)	4,3	7,0	9,6	53,9	11,0	9,0	5,3
Porto (%)	8,2	11,1	12,1	37,3	12,1	11,1	8,2

Sendo Lisboa e Porto as duas cidades com maior número de habitantes e por conseguinte, as mais significantes importa comparar as pressões por tkm provenientes do transporte de bens no interior de cada um das cidades. Esta comparação é feita em função da situação utilizada como padrão, com valor de declive de 0%. A classe designada para o corrente exercício foi a de veículos rígidos com peso bruto entre 7,5 t e 12 t, cuja análise às pressões ao longo do ciclo de vida se encontra realizada no Capítulo 4.2.2

Tabela 4.19 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na cidade de Lisboa em pesos de mercadorias

	WA (L eq/tkm)	RE (g eq/tkm)	LU (dm ² .a eq/tkm)	GHG (g CO ₂ eq/tkm)	PA (g NO _x eq/tkm)	DF (µg TCDD eq/tkm)	PWL (g N eq/tkm)
Declive médio	1,03	374	0,38	545	21,0	0,119	11,7
Declive típico de Lisboa	1,16	416	0,42	606	23,4	0,135	12,9
Incremento (%)	+ 12,6	+ 11,2	+ 10,5	+ 11,1	+ 11,4	+14,4	+ 10,3

A Tabela 4.19 permite chegar a conclusões relevantes. A precisão da quantificação de pressões ambientais durante o processo de condução do veículo depende muito do meio envolvente, em especial da topografia do terreno. A constante variação de declives que se verifica numa cidade como Lisboa resulta num aumento médio das pressões por tkm de 11,6%.

A Tabela 4.20 apresenta análise semelhante, centrada contudo na cidade do Porto, cujo perfil topográfico denuncia uma maior incidência de declives acidentados quando comparada com a cidade de Lisboa.

Tabela 4.20 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na cidade do Porto em pesos de mercadorias

	WA (L eq/tkm)	RE (g eq/tkm)	LU (dm ² .a eq/tkm)	GHG (g CO ₂ eq/tkm)	PA (g NO _x eq/tkm)	DF (µg TCDD eq/tkm)	PWL (g N eq/tkm)
Declive médio	1,03	374	0,38	545	21,0	0,119	11,7
Declive típico do Porto	1,17	420	0,42	612	23,6	0,137	13,1
Incremento (%)	+ 13,6	+ 12,3	+ 10,5	+ 11,2	+ 12,4	+ 15,3	+ 11,9

A tendência verificada é idêntica para a cidade do Porto, embora sensivelmente mais acentuada dadas a maior frequência de declives irregulares contabilizados. O incremento médio das pressões por tkm neste caso concreto é de 12,5%, face à operação em declive médio.

4.5.2 Transporte de mercadorias a longa distância

O fluxo de mercadorias e bens entre cidades é essencial para na economia de qualquer país. As características geográficas de Portugal, país com deslocações internas

4. Resultados e discussão

curtas e com uma rede rodoviária moderna promovem a predominância do camião como meio preferencial para desempenhar a actividade. Tendo isso em conta desenvolveu-se um levantamento dos perfis topográficos das auto-estradas A1 e A25, consideradas como as mais relevantes no transporte de camiões a nível nacional.

Tabela 4.21 Perfil topográfico aproximado de auto-estradas, apresentado por percentagem de frequência de declives

Declive	-6%	-4%	-2%	0%	2%	4%	6%
A1 (%)	2,2	6,6	5,5	67,4	9,7	6,0	2,5
A25 (%)	8,7	8,9	10,9	35,3	13,5	11,6	11,1

A designação das duas auto-estradas inseridas na Tabela 4.21 deve-se ao facto de serem as duas infra-estruturas de maior importância no tráfego de bens a nível nacional, sendo a A25 a auto-estrada que faz a ligação entre Portugal e Espanha por onde passa a grande maioria das transacções efectuadas com os diversos países europeus. Para determinação da variação das pressões é utilizada a classe de peso bruto situada entre as 34 t e as 40 t.

Tabela 4.22 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na auto-estrada A1 em pesados de mercadorias

	WA (L eq/tkm)	RE (g eq/tkm)	LU (dm ² .a eq/tkm)	GHG (g CO ₂ eq/tkm)	PA (g NO _x eq/tkm)	DF (µg TCDD eq/tkm)	PWL (g N eq/tkm)
Declive médio	0,14	52,6	0,05	76,5	2,94	0,016	1,81
Declive típico da A1	0,16	57,3	0,06	83,3	3,20	0,018	1,95
Incremento (%)	+ 14,3	+ 8,9	+ 20,0	+ 8,9	+ 8,8	+ 11,6	+ 7,7

Conclui-se que também em percursos destinados para operação a velocidade elevadas a inconstância do declive ao longo do percurso gera um efeito penalizador no desempenho ambiental do veículo. Contudo, devido a questões de segurança, denota-se uma menor variação topográfico em relação aos itinerários urbanos estudados que se reflecte num menor incremento médio de pressões ambientais por tonelada-quilómetro. Em média a utilização da auto-estrada A1, ligação entre o norte e o sul mais frequentada, promove um aumento médio do passivo ambiental em 11,5% face à operação com o declive médio assumido.

Tabela 4.23 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na auto-estada A25 em pesados de mercadorias

	WA (L eq/tkm)	RE (g eq/tkm)	LU (dm ² .a eq/tkm)	GHG (g CO ₂ eq/tkm)	PA (g NO _x eq/tkm)	DF (µg TCDD eq/tkm)	PWL (g N eq/tkm)
Declive médio	0,14	52,6	0,05	76,5	2,94	0,016	1,81
Declive típico da A25	0,20	71,9	0,07	104,2	4,00	0,024	2,39
Incremento (%)	+ 42,9	+ 36,7	+ 40,0	+ 36,2	+ 36,1	+45,7	+ 32,0

A circulação de camiões pela auto-estrada A25 determina um aumento substancial em relação às emissões contabilizadas em declive médio. O referido agravamento deve-se ao facto de a estrada atravessar o planalto da Beira Alta, onde o terreno é mais acidentado. Em média, o percurso da A25 que se inicia em Aveiro e se prolonga até á fronteira com Espanha, provoca um aumento médio de 38,5% nas pressões por tkm efectuada.

4.6 Situações de transporte de passageiros típicas em Portugal

4.6.1 Passageiros transportados em cidade

O presente capítulo destina-se à produção de uma análise comparativa entre o desempenho ambiental de certos veículos rodoviários pesados de passageiros em contexto urbano. Serve a situação de operação média usada para produção dos resultados discutidos na parte inicial do Capítulo 4 como ponto de comparação. As cidades de Lisboa e Porto são novamente as analisadas devido ao elevado número de pessoas que diariamente se servem dos serviços colectivos de transporte rodoviário. O veículo tido em consideração é o autocarro urbano entre 15 t e 18 t, o mais utilizado na prestação do serviço.

Tabela 4.24 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na cidade de Lisboa em pesados de passageiros

	WA (L eq/pkm)	RE (g eq/pkm)	LU (dm ² .a eq/pkm)	GHG (g CO ₂ eq/pkm)	PA (g NO _x eq/tkm)	DF (µg TCDD eq/tkm)	PWL (g N eq/tkm)
Declive médio	0,09	31,8	0,03	45,7	2,09	0,010	0,98
Declive típico de Lisboa	0,10	33,7	0,04	48,5	2,21	0,011	1,04
Incremento (%)	+ 11,1	+ 6,0	+ 33,3	+ 6,1	+ 5,7	+7,4	+ 6,1

4. Resultados e discussão

Para a cidade de Lisboa o desempenho ambiental do transporte agrava-se 10,8%, em média. Um factor determinante para o referido aumento é o maior consumo de combustível que ocorre devido à existência de várias secções dos percursos com declive acentuado. A apresentação das frequências de declives estabelecidos para Lisboa encontra-se na Tabela 4.18.

A Tabela 4.25 revela uma tendência semelhante à anterior, ou seja, o aumento das pressões ambientais por indicador *EcoBlok* como consequência da variação da topografia do terreno.

Tabela 4.25 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na cidade do Porto em pesados de passageiros

	WA (L eq/pkm)	RE (g eq/pkm)	LU (dm ² .a eq/pkm)	GHG (g CO ₂ eq/pkm)	PA (g NO _x eq/tkm)	DF (µg TCDD eq/tkm)	PWL (g N eq/tkm)
Declive médio	0,09	31,8	0,03	45,7	2,09	0,010	0,98
Declive típico do Porto	0,10	33,8	0,04	48,6	2,21	0,011	1,04
Incremento (%)	+ 11,1	+ 6,3	+ 33,3	+ 6,3	+ 5,7	+12,2	+ 6,1

O facto de a cidade do Porto apresentar maior frequência de declives não nulos resulta em pressões ligeiramente superior àquela que se calcularam para a cidade de Lisboa. O incremento médio de pressões foi de 11,6%.

4.6.2 Transporte de passageiros a longa distância

O transporte de passageiros a longas distância é importante para a contabilização das pressões ambientais do subsector em Portugal, embora não apresente o mesmo fluxo de passageiros que o transporte urbano e suburbano. Para este caso concreto optou-se por estudar o desempenho de um autocarro de 18 t em serviço expresso para três itinerários específicos. A auto-estrada A1, que assegura a ligação entre Lisboa e Porto, pois é a que mais passageiros serve ao longo do ano (INE, 2014). Em segundo lugar estuda-se o trajecto pela A25, utilizada para realizar as deslocações entre Portugal e destinos europeus, como Espanha ou França. Por último é comparado o desempenho do autocarro em operação na auto-estrada do sul A2 justificando-se o estudo da mesma pelo elevado fluxo de passageiros durante o Verão.

4. Resultados e discussão

Tabela 4.26 Perfil topográfico aproximado da auto-estrada A2 apresentado por percentagem de frequência de declives

Declive	-6%	-4%	-2%	0%	2%	4%	6%
A2 (%)	4,9	4,3	11,9	54,7	15,2	6,0	3,1

A auto-estrada A2 liga Lisboa ao Algarve atravessando todo o Baixo Alentejo. Os troços mais declivosos surgem junto à Serra do Caldeirão. Esta infra-estrutura apresenta um perfil topográfico diferente daquele determinado para a A1 e A25, sendo mais constante que esta última.

Tabela 4.27 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na auto-estada A1 em pesados de passageiros

	WA (L eq/pkm)	RE (g eq/pkm)	LU (dm ² .a eq/pkm)	GHG (g CO ₂ eq/pkm)	PA (g NO _x eq/tkm)	DF (µg TCDD eq/tkm)	PWL (g N eq/tkm)
Declive médio	0,07	24,0	0,02	34,7	1,56	0,006	0,83
Declive típico da A1	0,10	36,0	0,04	51,9	2,21	0,011	1,19
Incremento (%)	+ 42,9	+ 50,0	+ 100	+ 49,6	+ 41,7	+83,3	+ 43,4

O passivo ambiental medido em cada serviço expresso realizado pela A1 é consideravelmente superior ao calculado para um declive médio de 0%. Em média, o aumento de pressões por pkm foi de 58,7%. Note-se que tanto a velocidade média como a taxa média de ocupação são semelhantes em ambos os casos, pelo que é possível reflectir acerca da importância do declive no desempenho ambiental da actividade.

Tabela 4.28 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na auto-estada A2 em pesados de passageiros

	WA (L eq/pkm)	RE (g eq/pkm)	LU (dm ² .a eq/pkm)	GHG (g CO ₂ eq/pkm)	PA (g NO _x eq/tkm)	DF (µg TCDD eq/tkm)	PWL (g N eq/tkm)
Declive médio	0,07	24,0	0,02	34,7	1,56	0,006	0,83
Declive típico da A2	0,10	36,1	0,04	52,0	2,22	0,011	1,19
Incremento (%)	+ 42,9	+ 50,4	+ 100	+ 49,9	+ 42,3	+66,7	+ 43,4

4. Resultados e discussão

A auto-estrada do sul regista afluências muito elevadas durante os meses de Verão devido ao fluxo de pessoas para região sul para frequência das zonas balneares. O perfil topográfico desta infra-estrutura é ligeiramente mais acidentado em comparação com a A1, sendo esta a principal razão para se registarem aumentos ténues nos valores de cada indicador, com um valor médio de 56,5%.

Tabela 4.29 Estudo das pressões ambientais típicas da circulação na auto-estrada A25 em pesados de passageiros

	WA (L eq/pkm)	RE (g eq/pkm)	LU (dm ² .a eq/pkm)	GHG (g CO ₂ eq/pkm)	PA (g NO _x eq/tkm)	DF (µg TCDD eq/tkm)	PWL (g N eq/tkm)
Declive médio	0,07	24,0	0,02	34,7	1,56	0,006	0,83
Declive típico da A25	0,13	43,7	0,04	62,9	2,66	0,014	1,42
Incremento (%)	+ 85,7	+ 82,1	+ 100	+ 81,3	+ 70,5	+130	+ 71,1

A Tabela 4.29 refere-se à operação na auto-estrada A25, a mais acidentada das três analisadas. Assim sendo é expectável o agravamento do desempenho ambiental dos autocarros quando ali circulam. Este exemplo reforça toda a importância do declive enquanto factor chave no condicionamento das emissões e consumos de combustível durante a operação do veículo. Em média regista-se um agravamento médio das pressões de 88,7%, ou seja, a utilização da auto-estrada A25 gera emissões que quase dobram os valores obtidos para declives nulos.

Após a extensiva análise realizada conclui-se que a inconstância existente na topografia do terreno é um factor fundamental a considerar na determinação do desempenho ambiental da operação de qualquer veículo rodoviário, um vez que a integração da referida variável pode acrescentar emissões que podem facilmente ultrapassar 50% das verificadas em declives nulos.

5 Conclusões

5.1 Síntese

O transporte rodoviário tem grande influência na pressão ambiental gerada por diversos sectores de actividade em Portugal. Embora se tenha verificado em anos recentes um decréscimo na utilização do automóvel ligeiro e pesado, a média nacional de utilização é ainda superior à europeia.

Vários têm sido os estudos e inventários realizados com o objectivo de quantificar o passivo ambiental associado ao transporte pesado. Todavia, a grande maioria apenas limita o seu foco à de operação dos veículos ignorando os restantes estágios da cadeia de valor. A utilização da metodologia de análise de ciclo de vida (ACV) permite avaliar o desempenho ambiental do referido sector, contabilizando as pressões inerentes aos vários processos que decorrem ao longo do seu ciclo de vida.

Os inventários de ciclo de vida (ICV) foram elaborados através de dados adquiridos a várias entidades nacionais e comunitárias, com posterior adaptação dos mesmos para obtenção de valores de pressão que reflectem a realidade nacional. Perante a ausência de informação mais específica em determinados processos do ciclo de vida optou-se por utilizar a base de dados *Ecoinvent*. A metodologia *EcoBlok* possibilitou a agregação dos dados por indicadores de pressão adaptados aos processos contabilizados.

Para o ano de 2013 a frota portuguesa especializada no transporte de mercadorias foi responsável por 12,8 hm³ eq. de água consumida; 3 097 kt eq. de recursos extraídos; 119 km².ano eq. de solos usados; 3 253 kt CO₂ eq. de GEE; 121 kt NO_x eq. de poluentes atmosféricos; 197 kt N eq. de poluentes para o solo e meios hídricos e 1,3 kg TCDD eq. de dioxinas e furanos emitidos em 2013.

A fase de operação de cada camião é a que mais contribui para o total da pegada ecológica determinada. O ciclo de vida do gasóleo tem relevância decisiva para a expressão da referida fase. A operação e manufactura estabelecem mais de 90% da pressão total contabilizada no ciclo de vida de um camião. A aplicação da unidade funcional tkm (tonelada-quilómetro) permite avaliar a eficiência das operações de logística para o ano de referência.

No total o funcionamento de autocarros em Portugal consumiu 1,7 hm³ eq. de água; extraiu 221 kt eq. de recursos; ocupou 14,6 km².ano eq. de solos; emitiu 234 kt CO₂ eq. de GEE; 10,4 kt NO_x eq. de poluentes atmosféricos; 16,9 kt N eq. de poluentes para o solo e meios hídricos e 0,1 kg TCDD eq. de dioxinas e furanos em 2013. Foi novamente a fase de

operação dos veículos que maior pressão produziu devido. Dos sete indicadores adoptados, apenas o indicador dioxinas e furanos tem a manufactura como fase mais relevante.

Os parâmetros de operação de um veículo pesado têm forte influência no seu desempenho ambiental. Da análise efectuada conclui-se que a circulação em estradas declivosas ou a velocidades inconstantes provoca um significativo agravamento das emissões por vkm.

A utilização das unidades funcionais tkm e pkm permite distribuir as pressões ambientais de acordo com o serviço efectivamente prestado. Através do presente estudo é possível comprovar que a optimização da logística de transporte tem elevado potencial para a redução das pressões sobre o ambiente.

5.2 Limitações

A aplicação da metodologia ACV pressupõe um complexo e exaustivo processo de aquisição e aplicação de dados. A obtenção de dados provenientes de entidades nacionais e comunitárias revelou-se insuficiente para o completo inventariado dos *inputs* e *outputs* relativos a todos os processos que têm lugar na cadeia de valor do produto sob avaliação. Adicionalmente, a falta de homogeneidade de apresentação de dados estatísticos reportados por entidades nacionais e comunitárias implica a adopção de pressupostos e operações que promovem o aumento do erro associado. Releva-se o facto de os dados disponíveis não coincidirem com o ano mais recente, sendo apenas possível a recolha de dados com dois ou mais anos de atraso em relação ao presente. Embora as bases de dados de ciclo de vida surjam como a mais viável solução para aquisição de dados, a própria concepção das mesmas assenta em várias aproximações a processos reais. Esta situação resulta no aumento das margens de erro associado.

No entanto estas bases de dados produzem inventários coerentes em termos de ordem de grandeza das pressões, hierarquizando os processos de acordo com a sua importância na cadeia de valor do produto estudado.

5.3 Desenvolvimentos futuros

O desenvolvimento de avaliações ao desempenho ambiental de sectores ou produtos apoiados na metodologia ACV é ainda escasso em Portugal, assim como os dados disponíveis para aplicação directa da mesma. O estabelecimento de uma análise anual a ambos os subsectores estudados seria importante para a compreensão da evolução do desempenho ambiental de ano para ano. No entanto, tal avaliação depende directamente da publicação de informação mais recente por partes das entidades responsáveis.

A agregação dos indicadores *EcoBlok* em apenas um valor numérico de pressão, denominado de índice *EcoBlok* facilitaria a comparação entre produtos ou sectores. Todavia, a incerteza associada aos factores de conversão estabelecidos revelou-se determinante para a não utilização do índice. Porém, a refinação do método permitirá a agregação de pressões num único valor de área, cuja aplicação possibilitará o estabelecimento de comparação entre sectores e produtos de maneira rápida e perceptível.

Por último, pretende-se desenvolver uma ferramenta de cálculo assente no conteúdo explorado na dissertação. Através desta seria possível calcular a pegada ecológica de um veículo pesado de mercadorias ou passageiros ao longo da sua vida útil, introduzindo variáveis associadas às características do veículo e modo de operação. A velocidade média de circulação ou o factor médio de carga (taxa de ocupação) são alguns dos factores que maior influência têm no desempenho ambiental de cada veículo e cuja inclusão traria maior rigor à ferramenta.

Referências Bibliográficas

“A empresa-CaetanoBus” 2015. Acedido a 10 de Julho de 2015.

<http://www.caetanobus.pt/>

ACAP. (2014). “Estatísticas do Sector Automóvel, edição 2013”. Associação Automóvel de Portugal.

ACEA (2013). “The Automobile Industry Pocket Guide 2013”. European Automobile Manufacturers Association.

AFIA. (2015). “Indústria de Componentes Automóveis. Dados Estatísticos”. Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel.

Afonso, A., Alves, M., Araújo, F. Arnaldo, A., Lopes, J., Palma, C., Santos, R., Soares, C., Vasconcelos, J. (2014). Projeto de Reforma da Fiscalidade Verde.

APA (2014a). Relatório de Estado do Ambiente 2014. Agência Portuguesa do Ambiente.

APA. (2014b). Portuguese national inventory report on greenhouse gases, 1990-2012, 1990-2012. Agência Portuguesa do Ambiente.

Ally, J., Pryor, T. (2007). "Life-cycle assessment of diesel, natural gas and hydrogen fuel cell bus transportation systems". *Journal of Power Sources*, 170(2-April), 401–411. <http://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.04.036>

Aluminum Association. (2011). Aluminum: The element of sustainability. *A North American Aluminum Industry Sustainability* .(September).

<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Aluminum+:+The+Element+of+Sustainability#0>

.Beuthe, M. (2007). “Intermodal Freight Transport in Europe”, in *Globalized Freight Transport: Intermodality, E-Commerce, Logistics and Sustainability*, Capineri, C.; Leinbach, T. (editors), pp. 54-99, Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing Limited

BP (2015). *BP Statistical Review of World Energy*. British Petroleum

Brás, H. (2012). “Avaliação dos benefícios da implementação de Zonas de Emissões Reduzidas em Lisboa”. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa-Faculdade de Ciências e Tecnologia. http://run.unl.pt/bitstream/10362/7691/1/Bras_2012.pdf

“Centro de Fragmentação-Valorcar” 2015. Acedido a 15 de Julho de 2015. <http://www.valorcar.pt/reciclagem/vfv/circuito-tratamento/fragmentacao.html>

Classen, M., Althaus, H.-J., Blaser, S., Scharnhorst, W., Tuchscheid, M., Jungbluth, N., & Emmenegger, M. (2009). "Life Cycle Inventories of Metals". Ecoinvent v2.1 report N.10. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Chester, M. (2008). "Life-cycle Environmental Inventory of Passenger Transportation in the United States". *Institute of Transportation Studies. University of California, Berkeley*.

Chester, M., Eisenstein, W., Elizabeth, Z., Matute, J., Pincetl, S. (2013). "Infrastructure and automobile shifts: positioning transit to reduce life-cycle environmental impacts for urban sustainability goals". *Environmental Research Letters*, (8), 015041. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015041>

Chester, M., Horvath, A. (2007). "Environmental Life-cycle Assessment of Passenger Transportation: A Detailed Methodology for Energy, Greenhouse Gas, and Criteria Pollutant Inventories of Automobiles, Buses, Light Rail, Heavy Rail and Air." *University of California, Berkeley. Center for Future Urban Transport: A Volvo Center of Excellence*

Chester, M., Horvath, A. (2009). "Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains". *Environmental Research Letters*, 4(2), 024008. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/4/2/024008>

Chester, M., Horvath, A., Madanat, S. (2010). "Comparison of life-cycle energy and emissions footprints of passenger transportation in metropolitan regions" *Atmospheric Environment* 44 (March): 1071-1079.

CMLisboa. (2010). "Relatório Síntese da Caracterização Biofísica de Lisboa. Revisão do Plano Director Municipal". Câmara Municipal de Lisboa

Cohen, J. T., Hammitt, J. K., Levy, J. I. (2003). "Fuels for urban transit buses: A cost-effectiveness analysis." *Environmental Science and Technology*, 37(8), 1477–1484. <http://doi.org/10.1021/es0205030>

Cunha, J. (2012). "Melhoria do Processo Logístico com Fornecedores locais, e desenvolvimento de estratégias de redução de stocks". Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Das, S. K., & Yin, W. (2007). "The worldwide aluminum economy: The current state of the industry". *Jom*, 59(11), 57–63. <http://doi.org/10.1007/s11837-007-0142-0>

DGEG. (2013). *Política Energética*. Direcção de Energia e Geologia.

DGEG. (2014a). *Importação de Petróleo Bruto*. Direcção Geral de Energia e Geologia

DGEG. (2014b). *Venda de produtos de petróleo em 2013*. Direcção Geral de Energia e Geologia.

Direcção Regional dos Transportes Terrestres. (2015). Transporte Rodoviário de Passageiros.

Duarte, M. (2012). "Modelos de Gestão e Financiamento de Transportes Coletivos Urbanos". Dissertação de mestrado, Faculdade de Economia-Faculdade do Porto.

EAA. (2012). "Structure of the Aluminum Sector in Europe". Acedido a 21 de Maio de 2015. <http://www.european-aluminium.eu/about-aluminium/facts-and-figures/>

EEA (2014). "EMEP-EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013. Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor cycles." European Environmental Agency.

Entmayr, P; Fehrenbach, H., Huinink, H., Krahlin, H., Rohl, Schoppe, K.D., Schuckert, M., Schweimer, G.W., Reinke. (1999). "Life Cycle Assessment of a car tyre". Continental.

- Government of Canada (1990). "Polychlorinated Dibenzodioxins and Polychlorinated Dinbenzofurans". Canadian Environmental Protection Act.
- ERF (2011). "European Road Statistics 2011". 10th Edition. European Union Road Federation
- Eurostat, 2014. "Summary of annual road freight transport by type of operation and type of transport". Acedido a 15 de Maio de 2015. <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do>
- Facanha, C., & Horvath, A. (2007). "Evaluation of life-cycle air emission factors of freight transportation". *Environmental Science and Technology*, 41(20), 7138–7144. <http://doi.org/10.1021/es070989q>
- Ferreira, D. (2013a). "Mitsubishi Fuso Truck Europe – Relatório de Estágio". Instituto Politécnico de Tomar-Escola Superior de Tecnologia de Tomar
- Ferreira, J. V. R. (2004). "Gestão Ambiental - Análise de Ciclo de Vida Dos Produtos". Instituto Politécnico de Viseu
- Ferreira, V. (2013b). "O Setor dos Transportes de Mercadorias em Portugal : A intermodalidade enquanto fator dinamizador das empresas exportadoras." Dissertação de mestrado. Faculdade de Economia da Universidade do Porto.
- Fries, N., Hellweg, S. (2014). "LCA of land-based freight transportation: Facilitating practical application and including accidents in LCIA." *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(3), 546–557. <http://doi.org/10.1007/s11367-013-0657-2>
- Frischknecht, R., G. Rebitzer.(2005). "The Ecoinvent Database System: A Comprehensive Web-Based LCA Database." *Journal of Cleaner Production* 13 (13-14): 1337–43. doi:10.1016/j.jclepro.2005.05.002.
- Gaines, L., Stodolsky, F., Cuenca, R., & Eberhardt, J. (1998). "Life Cycle Analysis for Heavy Vehicles". *Argonne National Laboratory. Transportation Technology R&D Center*.
- Gerilla, G. P., Teknomo, K., & Hokao, K. (2005). "Environmental Assessment of International Transportation Products." *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 3167–3182.
- GEOTA (2014). *Transportes Públicos : de rede de transportes a manta de retalhos*. Grupo de Estudo de Ordenamento do Território e Ambiente.
- Gomes, P. (2011). "Custos internos e externos de Mobilidade em Portugal". Universidade de Aveiro
- Guimarães, J. (2013). "Concepção de Linha de Expedição de Materiais CKD, na CaetanoBus". Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Hellgren, J. (2007). "Life cycle cost analysis of a car, a city bus and an intercity bus powertrain for year 2005 and 2020". *Energy Policy*, 35(1), 39–49. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.10.004>
- Higino, G. 2014. "Indicadores de Desempenho Ambiental do Sector Eléctrico em Portugal". Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa. http://run.unl.pt/bitstream/10362/14763/1/Higino_2014.pdf
- Hischier, R. (2007).: Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Papers (part II): Plastics. Ecoinvent report n°11 Database, (11), 242. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Horvath, A., & Facanha, C. (2006). "Environmental Assessment of Freight Transportation in the U.S." *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(4), 229–239. <http://doi.org/10.1065/lca2006.02.244>

- INE. (2013). Estatísticas dos Transportes e Comunicações 2012. Instituto Nacional de Estatísticas.
- INE. (2014). Estatísticas dos Transportes e Comunicações 2013. Instituto Nacional de Estatísticas.
- INTELI (2005). *Diagnóstico da Indústria Automóvel em Portugal*.
- IPCC. 2007. "2.10.2 Direct Global Warming Potentials". IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Acedido a 12 de Maio de 2014. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html.
- ISO 14040:2006 *Life Cycle Assessment: Principles and Framework*. International Organization for Standardization.
- Kasai, J. (1999). "Good-Life cycle assessment, evaluation method for sustainable development." *JSAE Review* 20, 387–393. [http://doi.org/10.1016/S0389-4304\(99\)00013-2](http://doi.org/10.1016/S0389-4304(99)00013-2)
- Lopes, J. (2014). "Indicadores de desempenho ambiental do sector do petróleo e gás natural em Portugal". Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa) <http://run.unl.pt/handle/10362/13926>.
- Macedo, L., N. Sobral, e J. Melo. (2005). Guia EcoBlock. CME-IMAR FCT/UNL.
- Matos, L. (2012). "Avaliação Do Desempenho Ambiental Da Produção de Mobiliário Em Portugal" Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa. <http://run.unl.pt/handle/10362/7784>.
- "Manufacturing process-Yokohama" 2015. Acedido a 11 de Julho de 2015. <http://global.yokohamatire.net/technology/tireknowledge/manufacturingprocess.html>
- Martins, J. (2014). "Plano de Marketing para a venda de camiões Volvo em Portugal - Auto Sueco, Lda.". Dissertação de mestrado. Universidade Católica Portuguesa.
- McKenzie, E. C., Durango-Cohen, P. L. (2012). "Environmental life-cycle assessment of transit buses with alternative fuel technology." *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(1), 39–47. <http://doi.org/10.1016/j.trd.2011.09.008>
- Melo, J., A. Galvão, R. Margarido, e M. Flôxo. (2010). "EcoBlok - a Label to Transfer Standard Environmental Information along the Product Chain." CENSE-FCT-UNL (unpublished), 16 P
- Melo, J., e C. Pegado. (2002). "Ecoblock: A Method for Integrated Environmental Performance Evaluation of Companies and Products (construction Case-Study)." In International Conference on Ecobalance, 5:399–402.
- "Mitsubishi Fuso Truck & Bus Corporation- Mitsubishi Fuso" 2015. Acedido a 10 de Julho de 2015. <http://fuso-trucks.com.pt/fusoportugal/0-1192-1429641-351-1454136-1-0-0-0-1-0-1429641-0-0-0-0-0-0.html>
- Mötl, H. (2009). "Life Cycle Assessment of Means of Transport for Goods Traffic".
- Nappi, C. (2013). "The Global Aluminium Industry 40 years from 1972. World Aluminum." International Aluminum Institute
- Neves, J. (2006). "The Impact of Bus Lanes on Urban Traffic Environment". Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

- Nordhall, P. (2007). "Application of Life Cycle Assessment in the Truck Industry". Chalmers University of Technology.
- Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. 2015. Acedido a 15 de Maio de 2015.
- Pegado, C; Melo, J; Ramos, T. (2001). "EcoBlock: Método de Avaliação do Desempenho Ambiental".
- Pinho, P. (2002). *Atlas da Área Metropolitana do Porto*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- PlasticsEurope (2015). "Plastics – the Facts 2014/2015 An analysis of European plastics production, demand and waste data." Association of Plastic Manufacturers. 1-34
- "Raw materials-Yokohama" 2015. Acedido a 11 de Julho de 2015. <http://global.yokohamatire.net/technology/tireknowledge/rawmaterials.html>
- Rosa, J. (2009). "Gestão de Veículo em Fim de Vida: Do Contexto Internacional à Realidade Portuguesa." Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa-Faculdade de Ciências e Tecnologia. http://run.unl.pt/bitstream/10362/2387/1/Rosa_2009.pdf
- Sabença, S. (2013). "Gestão da água na indústria - Reutilização de água para a rega na PSA Peugeot Citroen Mangualde". Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Viseu.
- Sandberg, T. (2001). "Heavy Truck Modeling for Fuel Consumption Simulation and Measurements". Linköping Studies in Science and Technology. Thesis No. 924. Department of Electrical Engineering.Linköping University.
- Simon, B., Tamaska, L., Kovats, N. (2010). "Analysis of Global and Local Environmental Impacts of Bus Transport by LCA Methodologies." *Hungarian Journal of Industrial Chemistry*, 38(2), 155–158.
- Spielmann, M., Bauer, C., Dones, R., & Tuchschnid, M. (2007). "Transport Services. Data v2.0." Ecoinvent report N 14.Swiss Centre for Life Cycle Inventories., 237.
- Spielmann, M., & Scholz, R. (2004). "Life Cycle Inventories of Transport Services: Background Data for Freight Transport." (10 pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 10(1), 85–94. <http://doi.org/10.1065/lca2004.10.181.10>
- Statista. (2015a). "Countries with largest smelter production of aluminum from 2010 to 2014". Acedido a 7 de Julho de 2015. <http://www.statista.com/statistics/264624/global-production-of-aluminum-by-country/>
- Statista. (2015b). "Global copper reserves as of 2014, by country". Acedido a 9 de Julho de 2015. <http://www.statista.com/statistics/273637/copper-reserves-by-country/>
- Statista. (2015c). "Global lead reserves as of 2014, by country". Acedido a 25 de Maio de 2015. <http://www.statista.com/statistics/273652/global-lead-reserves-by-selected-countries/>
- Statista. (2015d). "Global zinc reserves as of 2014, by country". Acedido a 25 de Maio de 2015. <http://www.statista.com/statistics/273639/global-zinc-reserves-by-country/>
- Statista. (2015e). "Major countries in copper mine production worldwide from 2010 to 2014". Acedido a 9 de Julho de 2015. <http://www.statista.com/statistics/264626/copper-production-by-country/>
- Statista. (2015f). "Major countries in worldwide bauxite mine production from 2010 to 2014". Acedido a 20 de Maio de 2015. <http://www.statista.com/statistics/264964/production-of-bauxite/>

- Statista. (2015g). "Major countries in worldwide lead mine production from 2010 to 2014". Acedido a 25 de Maio de 2015. <http://www.statista.com/statistics/264632/lead-mine-production-by-country/>
- Statista. (2015h). "Major countries in worldwide zinc mine production from 2010 to 2014". Acedido a 25 de Maio de 2015. <http://www.statista.com/statistics/264634/zinc-production-by-country/>
- Statista. (2015i). "World reserves of iron ore as 2014, by country - Statista". Acedido a 25 de Maio de 2015. <http://www.statista.com/statistics/267381/world-reserves-of-iron-ore-by-country/>
- Sundvor, C. F. (2013). "Life Cycle Assessment of Road Vehicles for Private and Public Transportation". Norwegian University of Science and Technology. Department of Energy and Process Engineering.
- Szeteiová, K. (2010). "Automotive materials plastics in automotive markets today". Institute of Production Technologies, Machine Technologies and Materials, Faculty of Material Science and Technology in Trnava. Slovak University of Technology Bratislava.
- "Tire knowledge - Yokohama" 2015. Acedido a 11 de Julho de 2015. <http://global.yokohamatire.net/technology/tireknowledge/index.html>
- Todd, J., M. Curran, K. Weitz, A. Sharma, B. Vigon, E. Price, G. Norris, P. Eagan, W. Owens, e A. Veroutis. 1999. "Streamlined Life-Cycle Assessment: A Final Report from the SETAC North America Streamlined LCA Workgroup." *Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) and SETAC Foundation for Environmental Education*.
- U.S. Department of Energy. (2007). *U.S. Energy Requirements for Aluminum Production: Historical Perspective, Theoretical Limits and Current Practices*.
- USEPA. 2006. *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*. U.S Environmental Protection Agency.
- Volvo Environmental Group. (1996). "Environmental impact of Volvo Group operations - Data Report 1996". Volvo
- Volvo Environmental Group. (2000). "Environmental impact of Volvo Group operations - Data Report 2000". Volvo
- Volvo Environmental Group. (2002). "Environmental impact of Volvo Group operations - Data Report 2002". Volvo
- Volvo Environmental Group. (2005). "Environmental impact of Volvo Group operations - Data Report 2005". Volvo
- Volvo Environmental Group. (2008). "Environmental impact of Volvo Group operations - Data Report 2008". Volvo
- Volvo Environmental Group. (2013). "Environmental impact of Volvo Group operations - Data Report 2013". Volvo
- Volvo Environmental Group. (2014). "Environmental impact of Volvo Group operations - Data Report 2014". Volvo
- Weidema B. P., Bauer C., Hischer R., Mutel C., Nemecek T., Reinhard J., Vadenbo C O., Wernet G. (2013). "Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3". Ecoinvent report No. 1 (v3). St Gallen: The ecoinvent Centre.

Anexo1 Fases do ciclo de vida

A1.1 Manufactura

O presente anexo aborda em detalhe os principais processos considerados para a elaboração dos múltiplos ACV constituintes das três fases do ciclo de vida assumidas: manufactura, operação e fim de vida.

A1.1.1 Extracção e processamento de metais

A constituição de um veículo resulta da conciliação de componentes e peças produzidas a partir de vários materiais. Ferro, aço, alumínio, plásticos, cobre, chumbo, borracha e vidro formam mais de 90% do peso bruto total de um veículo pesado (Sundvor, 2013). Em seguida serão revistos os processos fundamentais da extracção e produção das referidas matérias-primas.

Extracção e produção de ferro e aço

O minério de ferro é um dos mais abundantes na crosta terrestre estando disponível na natureza associado a outros elementos. As principais reservas situam-se na Austrália, Brasil e China, contudo, dos países mencionados apenas a China se apresenta como um dos três principais produtores de ferro e aço a nível mundial.

Após a extracção do minério decorre um processo de elevado nível de complexidade através do qual se obtêm ferro e aço, tão importantes na indústria do sector automóvel pesado. A maioria do minério de ferro é convertido em ferro industrial através da transformação em dispositivos denominados de altos fornos num processo para o qual são necessárias quantidades consideráveis de combustíveis fósseis e electricidade (Classen *et al.*, 2009). Na Tabela A1.1 são observáveis as reservas de provadas de minério de ferro dos três principais detentores deste recurso.

Tabela A1.1 Países com maiores reservas de minério de ferro provadas em 2014
(Fonte: adaptado de Statista, 2015i)

País	Reservas provadas de minério de ferro em 2014 (Mt)
Austrália	23 000
Brasil	16 000
Rússia	14 000

Ainda que sejam estes os países onde o minério de ferro é mais abundante, é a China que se assume como o principal produtor de ferro e aço a nível mundial, conforme se verifica na tabela que se segue.

Tabela A1.2 Maiores produtores de ferro e aço em 2013 (Fonte: adaptado de Worldsteel Association, 2014)

País	Produção de ferro em 2013 (kt)
China	708 970
Alemanha	27 674
Brasil	26 200
País	Produção de aço em 2013 (kt)
China	823 000
Japão	111 000
Estados Unidos	88 000

A indústria especializada na produção dos metais ferrosos concebe ferro e aço primário ou secundário, consoante a origem da matéria-prima usada. Enquanto o ferro e aço de origem primária resultam da utilização directa de minério de ferro extraído, os metais secundários derivam da reciclagem de fragmentos que deixaram de ter utilidade para o consumidor e que apresentam condições de, após tratamento prévio, dar origem a novos lingotes (Classen *et al.*, 2009). De acordo com Frischknecht *et al.*, (1996) citado por Classen *et al.*, 2009 o ferro secundário representa 34% do mercado europeu, sendo que 40% da produção de aço advém de aço reutilizado.

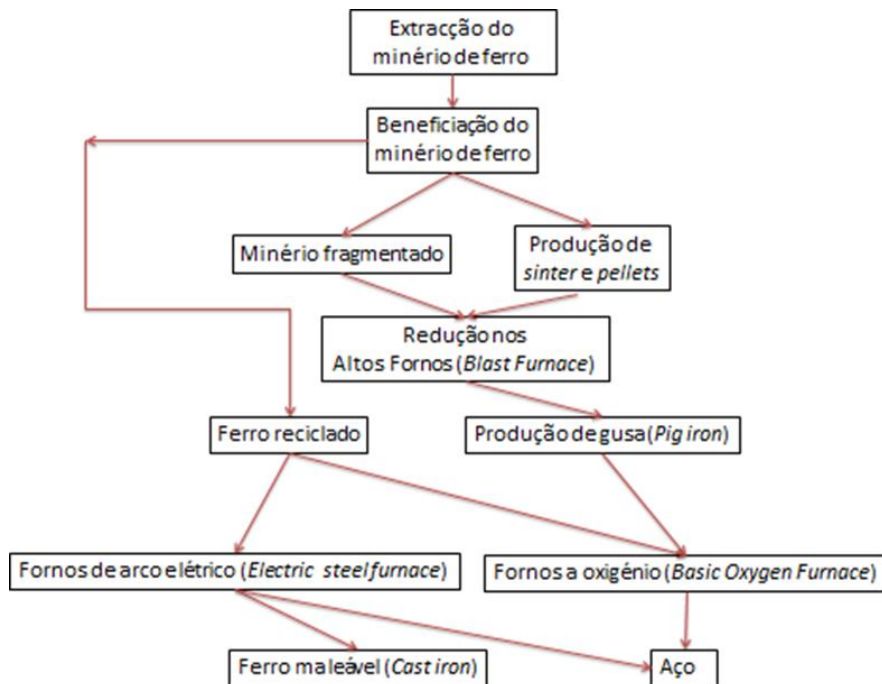


Figura A1.1 Diagrama esquemático do processo produtivo do ferro e aço (Fonte: adaptado de Classen *et al.*, 2009)

O minério de ferro é retirado das minas através da acção de escavadoras hidráulicas, passando depois por etapas de esmagamento e separação. Por vezes é necessário recorrer a explosivos para facilitar a obtenção do minério. Antes de se iniciar a fase de manufactura dos

metais é necessário remover os componentes nocivos presentes no minério como fósforo, arsénio, crómio ou cobre num processo denominado de beneficiação. Deste processo resultam, sobretudo, emissões de partículas para o ar devido à extracção e beneficiação, bem como metais pesados e hidrocarbonetos para as águas (Classen *et al.*, 2009).

Após a obtenção e tratamento do minério segue-se um complexo processo produtivo, cujas etapas fundamentais estão representadas na Figura A1.1 e do qual resultam ferro e aço prontos a serem aplicados nas diversas indústrias. Os processos chave presentes na manufactura são os seguintes (Classen *et al.*, 2009):

Formação de gusa (*Pig iron*) - A produção de gusa em altos fornos (*blast furnace*) é um processo comum em toda a indústria de produção de ferro e aço. Dentro deste sistema fechado são inseridos vários *inputs* de forma contínua, entre os quais minério de ferro, aditivos como *sinters*, *pellets*, calcário e agentes redutores pela parte superior do forno. Pela secção inferior dos fornos, ar aquecido a elevadas temperaturas é injectado na mistura forçando a combustão do coque e a reacção entre o oxigénio e o carbono do coque que dá origem ao monóxido de carbono. Posteriormente, o monóxido de carbono reagindo com o minério de ferro resulta em dióxido de carbono e gusa. Inicialmente este ferro encontra-se na fase líquida no fundo do forno. O calcário combina-se com as fracções rochosas e impurezas presente no ferro fundido separando a escória do fluido ferroso.

Produção de aço – Após a produção de gusa nos altos fornos, este produto divide-se e segue para diferentes destinos. Parte da gusa segue para os fornos alimentados por oxigénio (*Basic oxygen furnace*) onde se formará aço. O metal quente, isto é, a gusa recebe um pré-tratamento de dessulfurização após o qual segue para fornos básicos a oxigénio com reactores de Linz-Donawitz, os mais adequados para conversão de gusa. O processo baseia-se na inserção de oxigénio puro separado do ar no metal quente, oxidando as impurezas que ainda permanecem. Por norma, este processo não utiliza 100% da gusa proveniente dos altos fornos. Cerca de 10%-20% da matéria-prima são fragmentos de aço recuperado ao mercado, previamente fundido e adicionado à gusa.

Fragmentos ferrosos são o principal *input* nos fornos de arco eléctrico (*Electric arc furnace*) sendo estes provenientes, em parte, dos fornos básicos a oxigénio. A fracção restante é composta por excessos de produção e fragmentos em fim-de-vida. A utilização desta infraestrutura específica representa cerca de 35% de toda a produção de aço na União Europeia. Terminado o processo de moldagem e solidificação consegue-se por fim obter o *output* desejado, ou seja, aço sólido. No entanto, o material encontra-se longe das condições, propriedades e forma necessárias para aplicação nas várias indústrias para as quais é requisitado. A prensagem, efectuada a elevada temperatura, permite formatar o aço em folhas de mínima espessura com benefícios no transporte do material.

Produção de ferro (*Cast iron*) - O ferro maleável (*cast iron*) é produzido em fornos de arco eléctrico através de um processo semelhante ao aço. Designa-se de *cast iron* o ferro com nenhum, baixo ou elevado teor de ferro ligado a carbono, cujo conteúdo nunca é superior a 4%. A sua resistência à corrosão e vibração, possibilidade de modificação do seu conteúdo por adição de elementos como níquel, crómio ou cobre e as boas propriedades mecânicas fazem deste um dos principais componentes na manufactura de veículos. Actualmente a indústria automóvel é responsável por 40% de toda a utilização de *cast iron* no mundo.

Toda a manufactura do ferro e aço gera pressões assinaláveis para o ambiente, não só ao nível das emissões para solo, água e ar como de utilização de recursos ou uso do solo (Classen *et al.*, 2009).

Extracção e produção de alumínio

O alumínio, considerado o mais importante metal leve do mundo tem a particularidade de nunca surgir de forma natural no ambiente. A sua obtenção exige que haja um elaborado processo industrial a montante, começando o mesmo pela extracção de bauxite que é a matéria-prima de maior relevo na produção de alumínio (Classen *et al.*, 2009). Actualmente Austrália, China, Brasil e Guiné destacam-se como os países com maiores reservas mundiais de bauxite e índices de produção de alumínio (Statista, 2015), conforme se observa no seguinte quadro.

Tabela A1.3 Países com maior número de reservas provadas e bauxite no ano de 2014
(Fonte: adaptado de Statista, 2015f)

País	Reservas provadas de bauxite em 2014 (10 ³ kt)
Guiné	7 400
Austrália	6 500
Brasil	2 600

Todavia a lista de maiores produtores de alumínio a nível mundial não corresponde aos países com maior abundância de minério de bauxite. Salienta-se a importância da China na indústria mundial de metais ferrosos e não-ferrosos embora, nem sempre possua elevadas reservas naturais dos minerais cruciais para a produção dos metais. A seguinte tabela apresenta os países com maior expressão na indústria de alumínio, primário e secundário, no ano de 2014.

Tabela A1.4 Países com maior produção de alumínio no ano de 2014 (Fonte: adaptado de Statista, 2015a)

País	Produção em 2014 (kt)
China	23 300
Rússia	3 720
Canadá	2 970

A procura por alumínio tem registado uma notável evolução desde o início da década de 1990, sendo a indústria automóvel a maior responsável por este facto (Classen *et al.*, 2009). A contribuição do alumínio para o desenvolvimento de veículos mais leves sem prejuízo do seu desempenho ou segurança levaram a uma utilização quatro vezes maior deste metal entre 1991 e 2005. Adaptado a diferentes partes do veículo como o motor ou a carroçaria, o alumínio é responsável pela redução verificada no recurso ao aço nesta indústria específica (Das e Yin, 2007). A indústria automóvel é o sector que mais alumínio utiliza, cerca de 35% de todo o alumínio produzido a nível mundial (EAA, 2012). Por detrás do leve metal aplicado em diversos produtos e manipulado de diversas formas está um elaborado processo industrial que requer como *input* principal a bauxite extraída de minas em diversas partes do mundo. Para produzir um único quilograma de alumínio primário são necessários mais de 5 kg de bauxite, 2 kg de óxido de alumínio, 1 kg de electrólito e mais de 400 kg de ânodo (Nappi, 2013).

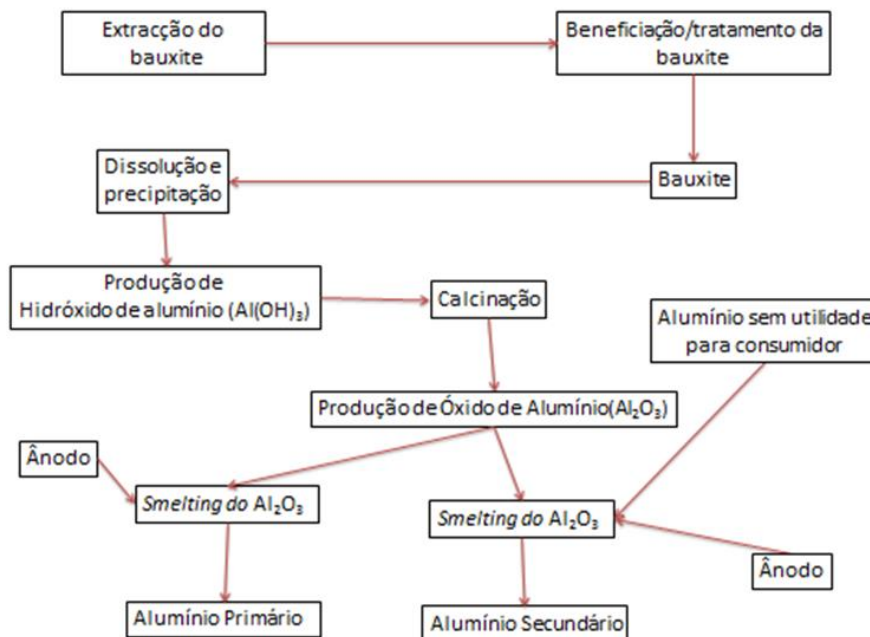


Figura A1.2 Diagrama esquemático do processo produtivo do alumínio primário e secundário (adaptado de Classen *et al.*, 2009)

Extração de Bauxite - Mais de 95% de bauxite é obtida através de minas abertas, pela acção de escavadoras hidráulicas que permitem a extração do minério (Classen *et al.*,

2009), cujo conteúdo em óxido de alumínio é de 30%-50% (Aluminum Association, 2011). Embora não haja emissões significativas de poluentes que não sejam partículas, durante o processo de remoção de bauxite, a ocupação e transformação do solo, os distúrbios de habitats e uso de energia constituem pressões ambientais significativas resultantes desta actividade (Aluminum Association, 2011).

Produção de hidróxido de alumínio e óxido de alumínio - Considerada como a primeira etapa da refinação de alumínio, a produção de hidróxido e óxido de alumínio baseia-se no *Bayer-Process*, no qual as fracções de alumínio existentes são dissolvidas devido à adição de soda caustica e posteriormente separam-se os produtos indesejados por sedimentação e filtração. O hidróxido de alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$) é obtido a partir de aluminato de sódio por precipitação. É o processo de calcinação, com temperaturas que rondam os 1000°C , que garante a transformação de hidróxido de alumínio em óxido de alumínio (Al_2O_3) (Classen *et al.*, 2009). O alumínio produzido pode ser designado como sendo primário quando obtido directamente a partir da transformação de bauxite ou, secundário, conseguido através do processamento de fragmentos de alumínio que são recolhidos, tratados, fundidos e moldados consoante o propósito para o qual está destinado (Aluminum Association, 2011).

Produção de alumínio primário - A produção de alumínio primário baseia-se numa reacção de redução electroquímica designada por *smelting*. Este processo baseia-se na cozedura dos ânodos, em simultâneo, nas células electrolíticas através da acção de calor proveniente do electrólito e da corrente eléctrica. A porção do ânodo junta-se, posteriormente, ao electrólito fundido, designado de criolite. Mais recentemente o processo de Hall-Héroult tem ganho destaque pela sua maior eficiência energética, embora o processo seja semelhante. Em média, são necessárias 2 t de Al_2O_3 para a produção de 1 t de alumínio primário (Aluminum Association, 2011).

Produção de alumínio secundário - Embora seja um dos metais leves mais abundantes na crosta terrestre, a reciclagem de alumínio é uma solução válida e recorrente na medida em que, permite não só reduzir a intensa exploração deste recurso como também se apresenta como uma solução mais eficiente do ponto de vista energético e que permite dar resposta à intensa procura. A produção de um lingote de alumínio secundário requer apenas 6% da energia necessária para a produção de um lingote de alumínio primário (U.S. Department of Energy, 2007). O processo é idêntico aquele que resulta na manufactura de alumínio primário, sendo o *input* alumínio proveniente do consumidor, que terá de ser submetido a um processo de fusão prévia (Classen *et al.*, 2009).

Processamento de alumínio - Para além de todo o processamento industrial que começa na extracção do minério de bauxite até à produção de lingotes de alumínio, muitas vezes é necessário atribuir formas específicas ao metal. A conversão de alumínio em folhas e barras é frequente. Folhas de alumínio são o resultado de um processo de prensagem a quente ou a frio, consoante as características e espessura desejadas. Os lingotes entre 500mm e 700mm

são aquecidos até aos 500°C e em seguida prensados através de um cilindro a quente, ficando reduzidos a espessuras entre os 8mm e os 2mm. Posteriormente, as folhas são novamente prensadas, desta forma a frio, chegando a atingir os 0,2mm de espessura. A formatação do metal em barras ocorre por extrusão, alongamento e corte dos lingotes (Classen *et al.*, 2009).

É perceptível que todo o processo que culmina com a obtenção de alumínio de diversos formatos e pronto a aplicar em diversas indústrias gera pressões substanciais sobre o ambiente, materializadas em emissões, uso do solo, extracção de vários recursos não renováveis.

Extracção e produção de cobre

O cobre ocorre na natureza associado a outros metais como o molibdénio ou o níquel, sendo necessário ter em conta a ocorrência de subprodutos, assim como procedimentos eficazes para a utilização destes. Por norma, o cobre é obtido a partir de minérios de sulfuretos, sobretudo calcopirite (CuFeS_2), calcocite (Cu_2S), bornite (Cu_5FeS_4) ou enargite (Cu_3AsS_4). No caso do cobre primário cerca de 95% de toda a extracção mineira foca-se em sulfuretos sobretudo, em depósitos de pórfiro com cobre sendo a calcopirite o principal minério. O restante cobre é conseguido como um subproduto de produção de molibdénio em minas de pórfiro do tipo cobre-molibdénio ou através de minérios de óxidos como a malaquite ($\text{CuCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Classen *et al.*, 2009).

O cobre é, á excepção do ouro, o único elemento metálico com uma cor diferente de cinzento. Sendo, hoje em dia, o metal pesado não-ferroso mais utilizado no mundo o cobre possui elevada capacidade de condutividade eléctrica e térmica, excelente ductilidade e resistência à corrosão. O Chile é, de forma destacada, o maior produtor mundial de cobre assim como, o país com maior abundância de reservas naturais deste metal. Tendo em conta o ritmo actual de exploração prevê-se que as reservas mundiais de cobre se esgotem dentro de 36 anos (Classen *et al.*, 2009).

Tabela A1.5 Países com maior número de reservas provadas e produção de cobre, no ano de 2014 (Fonte: adaptado de Statista, 2015b; Statista, 2015e)

País	Reservas provadas em 2014 (Mt)
Chile	209
Austrália	93
Peru	68
País	Produção em 2014 (kt)
Chile	5 800
China	1 620
Peru	1 400

Desde a obtenção do minério até ao seu processamento e aplicação à indústria automóvel o cobre passa por um extenso processo de manufactura, com pressões ambientais associadas a todas as etapas desse processo.

Exploração e beneficiação do minério de cobre - A extracção de minérios de sulfureto contendo cobre decorre, na sua maioria, em minas a céu aberto. Com o auxílio de maquinaria especializada o minério é extraído e, posteriormente, sujeito a um processo de beneficiação. A beneficiação do cobre consiste em separar este metal dos restantes materiais existentes no minério. Para tal recorre-se à flotação, técnica química que utiliza químicos orgânicos que separam o cobre de outros metais como o molibdénio, subproduto com valor de mercado. Devido à extracção do minério libertam-se partículas, metais e enxofre para a atmosfera que acabam por contaminar águas subterrâneas. Por outro lado, a beneficiação promove emissões de COV, PM₁₀ e metais para o ar bem como, compostos químicos lançados para os solos e água devido ao efluente gerado (Classen *et al.*, 2009).

Produção pirometalúrgica do cobre - Existem diversas maneiras de se obter um metal pelo que a escolha do processo deverá ponderar factores como a composição do minério ou os custos inerentes aos *inputs* de energia necessária. Actualmente destacam-se dois processos para produção de cobre, sendo o processo pirometalúrgico o mais utilizado no mundo. Este processo divide-se em três unidades de operação (Classen *et al.*, 2009):

Fase de pré-tratamento - Nesta fase ocorre a secagem e desulfurização do minério já após a beneficiação. O enxofre é retirado enquanto que o dióxido de enxofre e parte do ferro são oxidados.

Fase de redução - Caracteriza-se pelo *smelting* e conversão do minério em cobre. O produto da desulfurização é fundido através de um fluxo de silício que se combina com o ferro oxidado de modo a formar duas fases imiscíveis, a fase líquida de silicatos e a solução de sulfuretos fundidos onde está contido todo o cobre. A conversão ocorre no líquido composto por sulfuretos de onde se retira o enxofre e dióxido de enxofre, tal como o ferro oxidado. No fim obtém-se sulfureto de cobre de elevada qualidade com cerca de 98% de pureza.

Refinação - Após o pré-tratamento e redução do cobre é necessário realizar uma refinação do metal de modo a satisfazer as necessidades para as quais será utilizado. O procedimento mais utilizado é a refinação electrolítica que permite a separação de cobre de elevada capacidade de condução eléctrica e térmica das impurezas que lhe estão associadas. A produção de cobre primário inclui pressões ambientais significativas. Emissões de SO₂ são as mais significativas e decorrem do processo de refinação de minério. Também CO₂, partículas, metais pesados fazem parte das emissões para ar e água comuns na produção de cobre (Classen *et al.*, 2009).

Produção de cobre secundário - Embora grande parte do cobre produzido seja primário, a fracção secundária deste material representa uma parte considerável da produção mundial. O cobre de fontes secundárias consiste numa mistura entre cobre proveniente directamente da produção (*prompt scrap*) e cobre após utilização pelo consumidor (*old scrap*). Enquanto que a fracção de *prompt scrap* é prontamente adicionada às fornalhas, o *old scrap* terá de ser sujeito a um tratamento por *smelting* secundário onde o valor e propriedades do metal serão recuperados. Dependendo da composição química dos fragmentos, o *smelting* pode ser executado em altos fornos se tiver baixa percentagem de cobre ou em conversores e fornos de ânodo, nos quais apenas se aplicam fragmentos com conteúdo igual ou superior a 95% de cobre.

Processamento de cobre - Em certas indústrias é necessário submeter o metal a processos secundários de manufactura. No sector dos veículos pesados interessa a obtenção de varas, barras e fio de cobre importantes na produção dos motores. A formatação de fios de cobre é, do ponto de vista processual, semelhante à prensagem que forma folhas de diversos metais. A única dissimilaridade prende-se com o menor grau de deformação a que se sujeita o metal, no caso da produção de fio de cobre. Posteriormente são moldados em dispositivos próprios de muito fina espessura, 5,5 mm – 16 mm, que lhes confere a sua forma final.

Extracção e produção de zinco e chumbo

Tanto o chumbo como o zinco, dois metais com relevância na indústria de componentes para veículos são extraídos de complexos minérios, que incluem na sua composição diversos minerais. A galena, ou sulfureto de chumbo, é o mais importante minério para a indústria do chumbo ainda que este elemento surja também associado a outros. Nestes casos um único minério pode conter, para além de chumbo, zinco, arsénio, cobre, ouro ou prata. Por sua vez, o zinco é um elemento calcófilico disponível em sulfuretos depositados em soluções hidrotérmicas e magmas. A blenda ou esfalerite (ZnS) é o minério de maior relevância na produção de zinco contendo este vários componentes isomórficos ligados como o cádmio, gálio ou germânio (Classen *et al.*, 2009). Austrália, China, Rússia e Peru são os países com maiores reservas naturais dos de chumbo e zinco, como comprova a seguinte tabela.

Tabela A1.6 Reservas comprovadas de chumbo e zinco em 2014 (Fonte: Adaptado de Statista, 2015c; Statista, 2015d)

País	Reservas provadas em 2014 (Mt)
Austrália	35
China	14
Rússia	9,2
País	Reservas provadas em 2014 (Mt)
Austrália	62
China	43
Peru	29

Comparando as Tabelas A1.6 e A1.7 comprova-se a influência do mercado chinês em todo o sector de produção metalúrgica, mesmo sobre metais para os quais as suas reservas naturais não são abundantes.

Tabela A1.7 Produção de chumbo e zinco em 2014 (adaptado de Statista, 2015g; Statista, 2015h)

País	Produção em 2014 (Kt)
China	2 950
Austrália	720
Estados Unidos	355
País	Produção em 2014 (Kt)
China	5 000
Austrália	1 500
Peru	1 300

Embora a produção de chumbo primário continue a ser uma actividade bastante praticada, a reciclagem e, consequente, manufactura de chumbo secundário é cada vez mais uma realidade. Segundo Thornton *et al.*, (2001) citado por Classen *et al.*, 2009 cerca de 85% de todo o chumbo utilizado apresenta potencial para um reaproveitamento. Um factor que contribui para tal é o constante aumento da procura do metal, sendo essa procura superior às reservas de chumbo existentes. Uma fonte essencial de chumbo são as baterias de veículos e aparelhos em fim de vida (Scharnhorst, 2005 citado por Classen *et al.*, 2009).

Em anos recentes tem-se verificado a opção por tecnologias de refinação mais flexíveis que permitem um processamento simultâneo chumbo primário e secundário, dada a importância que o último possui no total da indústria deste setor (Classen *et al.*, 2009). Embora se tenha registado uma redução da procura devido à toxicidade que apresenta, o chumbo é o metal dominante na produção de baterias SLI (*starting, lighting and ignition*), baterias de tração automóvel ou baterias estacionárias (Sutherland *et al.*, 1997 citado por Classen *et al.*, 2009).

O zinco proveniente de fontes secundárias está a ganhar cada vez maior destaque devido à facilidade de reciclagem e facto de servir como matéria-prima na manufactura de novos produtos. No zinco primário 50% de todo o consumo destina-se à galvanização e protecção de metais contra a corrosão, sendo a resistência aos agentes corrosivos a melhor sua principal característica. Construção e indústria de transportes são os principais destinos da produção secundária do referido metal (Graf e Schleining, 1997; Classen *et al.*, 2009).

Extracção e beneficiação de zinco e chumbo - Assume-se a extracção conjunta de chumbo e zinco uma vez que ambos os elementos ocorrem naturalmente e, em conjunto, em sulfuretos que representam cerca de 70% de toda a exploração de ambos. A exploração é feita em minas

subterrâneas cujos acessos são conseguidos através de explosões controladas. Após a obtenção dos minérios segue-se o processo de beneficiação que permite separar o conteúdo pretendido daquele que não apresenta mais-valias do ponto de vista económico. Da beneficiação adquire-se um concentrado de chumbo e zinco pronto a ser inserido no processo de refinação (Classen *et al.*, 2009).

O aproveitamento de zinco e chumbo presentes no minério é muito reduzido. Em média, por cada 8 t de minério extraído apenas 1,9 t representam conteúdo mineral. Sobram sensivelmente de 6 t de resíduos e escória. O processamento do concentrado mineral gera ainda mais 850 kg de elementos sem qualquer valor comercial. Em suma, aproveita-se apenas 1 t de toda a quantidade de minério retirado. O conteúdo de chumbo e zinco aproveitados é de 55% e 53% respectivamente (Ayres *et al.*, 2002 citado por Classen *et al.*, 2009). São várias as pressões associadas à exploração de zinco e chumbo. Desde a transformação e uso do solo para extracção de minério até às emissões para água, ar e solo inerentes a todos os processos de obtenção e beneficiação do minério. Destacam-se as emissões de partículas ou COV para a atmosfera e de metais e compostos orgânicos para as águas subterrâneas.

Produção de chumbo primário - A produção de chumbo primário pode ser executada através de dois processos distintos, a oxidação de *sinters* seguida de redução em altos fornos ou o processo de redução por *smelting* directo. De acordo com Classen *et al.*, (2009) 44% da produção mundial de chumbo utiliza o primeiro método, enquanto os restantes 56% são conseguidos através da redução por *smelting* directo. Relativamente ao processo de sinterização de concentrado de chumbo, o principal objectivo desta etapa é a remoção de enxofre do minério e a simultânea produção de aglomerados de minério que são submetidos para redução em altos fornos, de onde se obtém chumbo (Classen *et al.*, 2009).

A finalidade desta fase da produção é a de obter chumbo primário refinado. Para tal recorre-se à utilização da *Imperial Smelting Furnace*, na qual se introduz o concentrado de zinco e chumbo resultante da beneficiação, combustível (coque pré-aquecido e *sinters*) e materiais secundários. A injeção de ar a elevadas temperaturas provoca a redução do conteúdo acabando o zinco por evaporar devido à sua natureza volátil. De modo a que este zinco gasoso não se perca, os gases são direccionados para um condensador e absorvidos por chumbo líquido. A refinação do zinco ocorre-se por destilação (Classen *et al.*, 2009).

O chumbo que resulta do *smelting* contém, por norma, várias impurezas e vestígios de cobre, prata ou arsénio. É fundamental realizar refinação pirometalúrgica cujo processo leva à obtenção de chumbo com um maior grau de pureza (Classen *et al.*, 2009). O conjunto de processos dos quais resulta chumbo, de origem primária ou secundária, resultam pressões significativas para o ambiente destacando-se as emissões de SO₂, NO_x, COV ou dioxinas. Metais pesados são os principais contaminantes emitidos para as águas (Classen *et al.*, 2009).

Produção de chumbo secundário - Embora o método de processamento do chumbo secundário seja em tudo semelhante ao primário existe uma ligeira diferença que reside na necessidade de uma etapa de pré-tratamento posterior à refinação. Este é um processo comum na manufatura de metais secundários. As baterias em fim-de-vida são a principal fonte de chumbo reciclado (Classen *et al.*, 2009).

Produção de zinco primário - A concepção de zinco primário pode resultar da aplicação de um processo industrial pirometalúrgico ou hidrometalúrgico, o mais utilizado na produção do presente metal. O grau de pureza que se pretender conferir ao metal é um dos factores que varia consoante o tipo de processamento a aplicar (Classen *et al.*, 2009).

O processo pirometalúrgico recorre a *Imperial Smelting Furnaces*, uma variante dos altos fornos, utilizada na forja de alumínio ou aço. Aqui se produz o zinco, contendo ainda vestígios de vários outros metais. Após a passagem pelos fornos o metal é refinado através da destilação fraccionada. Para tal são utilizadas colunas de destilação que permitem a separação do zinco e do cádmio do chumbo, numa primeira fase e, posteriormente a separação entre zinco e cádmio. Deste processo de refinação resulta zinco com 99% de pureza e o chumbo que se retira segue para reciclagem e produção. O processo de produção de zinco por métodos pirometalúrgicos é adequado para adição de conteúdo de zinco, chumbo e material secundário (Classen *et al.*, 2009).

O processo hidrometalúrgico usado para conteúdo de sulfuretos, óxidos ou carbonatos de zinco representa 80% da produção mundial de zinco. Primeiramente, os sulfuretos são calcinados em leitos fluidizados de modo a produzir óxido de zinco e SO_2 . O óxido de zinco é depois coleccionado e arrefecido, enquanto o SO_2 é convertido em H_2SO_4 num sistema de recuperação. É este H_2SO_4 que vai actuar sobre o zinco e permitir a sua refinação, visto que o ácido aquecido irá dissolver metais secundários ligados ao zinco ao longo de várias etapas. Após esta fase não é necessário qualquer outro processo de refinação (Classen *et al.*, 2009).

A1.1 2 Produção e processamento de plásticos

A aplicação de plásticos na indústria automóvel tem sofrido uma notável evolução em décadas recentes devido às propriedades que estes materiais conferem aos veículos. Através da utilização de diferentes tipos de plásticos é possível reduzir o peso de um automóvel, melhorar a sua resistência à corrosão, flexibilidade ou eficiência energética. Na manufatura de um veículo pesado de passageiros ou mercadorias são vários os polímeros utilizados, no entanto os quatro grupos de plásticos maioritários são polipropileno (PP), polietileno (PE), poliuretano (PUR) e polivinil-cloreto (PVC) que somados representam 66% do total de plásticos incluídos num veículo (Szeteiová, 2010).

Cerca de 80% de todos os plásticos utilizados são termoplásticos cujas propriedades variam mediante um processo de arrefecimento/aquecimento O polipropileno (PP) e o polivinil-

cloreto (PVC) são os mais produzidos (Hischier, 2007). São vários os sectores e actividades que recorrem a estes materiais, destinando-se 40% de todo o plástico produzido para a elaboração de embalagens (PlasticsEurope, 2015). A Figura A1.3 apresenta a distribuição das percentagens de utilização de plásticos por sector.

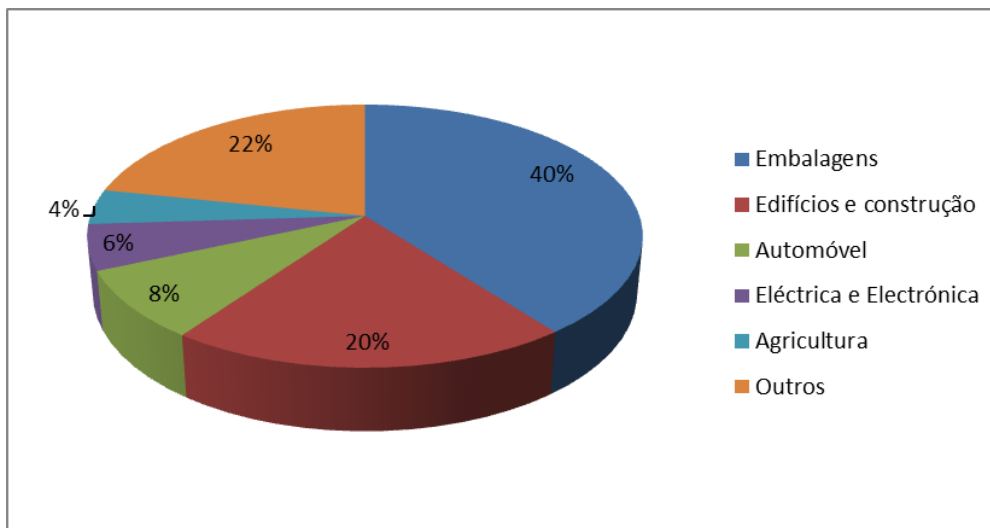


Figura A1.3 Consumo de plástico no continente europeu em 2013 (Fonte: adaptado de PlasticsEurope, 2015)

Em seguida será abordado processo de extracção de matérias-primas e manufactura dos quatro tipos de plásticos já mencionados, uma vez que são estes os processos que estão na génese dos *inputs* e *outputs* inventariados.

Refinação do petróleo

A refinação de crude é a etapa inicial da produção de todos os plásticos considerados, permitindo obter diversas fracções. Entre estas fracções está a nafta que é uma matéria-prima fulcral na produção de polímeros. Porém, a nafta contém vários hidrocarbonetos insaturados e impurezas que necessitam de ser retiradas ao conteúdo. Para tal recorre-se a um processo de *cracking*. Este procedimento consiste na separação da nafta em moléculas cada vez mais pequenas, insaturadas e reactivas como etileno (C_2H_4), propileno (C_3H_6) ou butileno (C_4H_8). Estes alcanos são unidades básicas na produção de vários tipos de plástico (Hischier, 2007).

Na operação de *cracking* existem três etapas chave da separação dos alcanos existentes na nafta (Hischier, 2007):

Introdução da nafta em fornos – onde o conteúdo é sujeito a um aquecimento que proporcionará produtos de reacção, dependendo estes da temperatura e tempo de exposição ao calor;

Quenching – traduz-se pelo rápido arrefecimento do combustível de modo a terminar as reacções que se vão desenvolvendo nos fornos;

Separação – dos vários hidrocarbonetos que foram separados ao longo do processo.

Note-se que este processo pode igualmente ser utilizado para converter gás natural em hidrocarbonetos necessários na produção de polímeros. O etileno ou propileno não têm qualquer uso directo que não seja o de servir de matéria-prima na obtenção de vários compostos plásticos como o polipropileno, polivinil-cloreto ou polietileno.

Produção de poliolefinas

Do grupo das poliolefinas fazem parte o polietileno (PE) e o polipropileno (PP), dois dos tipos de plásticos mais utilizados na indústria automóvel. O PE é, hoje em dia, o plástico mais utilizado a nível mundial devido à sua força, rigidez e resistência química. Fazem parte deste os polietilenos de baixa densidade (LDPE) mais flexíveis em relação aos polietilenos de elevada densidade (HDPE), de maior rigidez e opacidade (Hischier, 2007). Na manufactura de veículos os PE estão presentes na composição dos componentes eléctricos, reservatórios de líquidos, vidro reforçado ou nos sistemas de combustível (HDPE) (Szeteiová, 2010).

Do ponto de vista químico os PE são simples polímeros desenvolvidos pela junção de vários monómeros de etileno, estando as diferenças entre os diferentes PE na temperatura e pressão às quais os materiais são sujeitos. Por norma os LDPE são produzidos a pressões que chegam aos 2000 bar e temperaturas até 200°C e os HDPE perante condições de pressão atmosférica e temperatura nunca superior a 75°C. Tal ambiente promove a elaboração de plásticos com maior grau de cristalinidade e solidez num processo designado de polimerização (Hischier, 2007).

O polipropileno (PP), embora menos requisitado que o PE, tem uma estrutura molecular muito semelhante ao último. A sua utilização em veículos estende-se à produção de assentos, sistemas de combustível, pára-choques ou de reservatórios de líquidos. A sua resistência química, resistência aos raios UV ou impermeabilidade perante água justificam a sua elevada utilização nesta indústria (Szeteiová, 2010).

Produção de polímeros clorados

O polivinil-cloreto (PVC) destaca-se na indústria automóvel pela sua utilização na concepção de componentes eléctricos, assentos e vários outros constituintes do interior de um veículo (Szeteiová, 2010). Este grupo de plásticos caracteriza-se pela sua rigidez, boa estabilidade dimensional e resistência perante soluções ácidas e básicas estando sempre associado a estabilizadores de calor, lubrificantes entre outros aditivos. São vários os processos de polimerização possíveis de praticar em PVC, no entanto, a presente descrição metodológica focar-se-á apenas na suspensão que representa grande parte do processamento deste plástico (Hischier, 2007).

O PVC apresenta uma estrutura muito semelhante ao PE ou PP estando a diferença na presença de átomos de cloro no primeiro. Etileno e cloro são os compostos que reagem entre si dando origem ao 1,2-dicloroetano numa etapa designada por cloração directa, a primeira do processo de produção de PVC. Submetendo o 1,2 dicloroetano a elevadas temperaturas obtém-se cloreto de vinil e ácido hidroclórico cujo excesso reagirá com oxigénio e etileno num processo denominado de oxicloração. O cloreto de vinil é, posteriormente, submetido a suspensão da qual resulta o PVC (Hischier, 2007).

Produção de poliuretano

Poliuretanos (PUR) são uma família de diferentes polímeros e não um polímero específico. Em comum têm o facto de todos estes serem produzidos através do método de poliadição de dissocianato (Boustead, 1997 citado por Hischier, 2007). A indústria automóvel é um dos maiores consumidores de poliuretano, aplicados na produção de assentos (Szeteiová, 2010), *tabliers*, pára-choques e painéis instalados no interior dos veículos (Boustead, 2005 citado por Hischier, 2007). Elevada resiliência é a principal característica deste plástico (Szeteiová, 2010).

Existem dois processos distintos pelos quais se pode fabricar poliuretanos, o *one-shot process* que consiste na adição simultânea de todos *inputs* e catalisadores necessários numa reacção que decorre com uma temperatura máxima de 50°C. Através deste processo obtêm PUR flexíveis e rígidos. O processo de *prepolymer* requer a poliadição de dissocianato (Dieterich, 2000, citado por Hischier, 2007). Três importantes precursores, polioles, dissocianato de tolueno e dissocianato de difenil metano estão associados à produção de PUR dependendo as propriedades do produto final directamente do precursor utilizado (Hischier, 2007).

No fabrico de PUR aplicável à produção de componentes para veículos, a polimerização ocorre com a inclusão de 0,7 kg de polioles e 0,3 kg de dissocianatos (MDI), resultando 1 kg de poliuretano flexível, o mais aplicado no sector estudado na presente dissertação (Boustead, 2005 citado por Hischier, 2007).

Importa referir que todos os processos descritos são responsáveis por pressões ambientais consideráveis através, não só da extracção dos recursos necessários, mas também pelas emissões de poluentes e contaminantes para ar, água e solos devido aos processos de produção dos materiais. Existe uma primeira fase de extracção e refinação de petróleo comum à produção de todos os plásticos considerados, na qual se regista emissões significativas de CO₂, CO, SO₂, COVNM para o ar, metais pesados para as águas, bem como a produção de resíduos. Na produção de polietileno, polipropileno, poliuretano ou polivinil-cloreto destacam-se emissões de CO₂, CO, partículas ou metais pesados.

A1.1.3 Produção de pneus

Extracção de borracha e produção de pneus

Os pneus são constituintes fulcrais de qualquer veículo rodoviário. Este componente assume importância na segurança e desempenho dos veículos podendo condicionar o consumo de combustível em 5% por cada pneu (Yokohama, 2014).

A produção de um pneu tem a si associado um complexo processo de extracção de matérias-primas e manufactura que, tal como outros materiais do analisados, origina pressões e impactes que promovem a degradação do ambiente. Cada pneu resulta de uma mistura de diversos materiais combinados por forma a otimizar características como a resistência ao rolamento. A Figura A1.4 revela a composição média actual de um pneu utilizado em veículos rodoviários

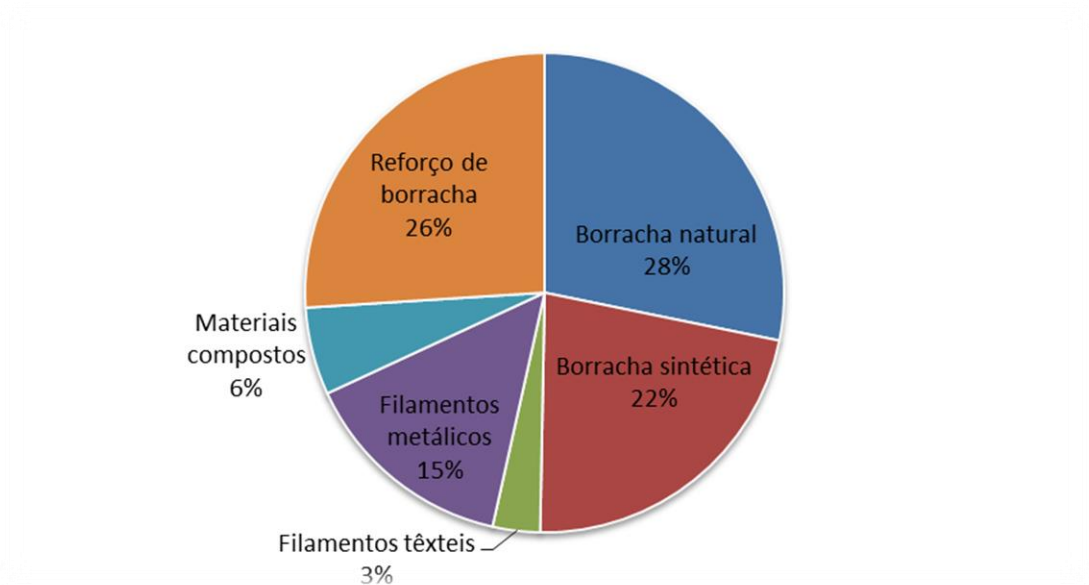


Figura A1.4 Composição média de um pneu (Fonte: adaptado de Yokohama, 2014)

Através da figura é possível averiguar a relevância da borracha na constituição de um pneu, cuja utilização obriga a que haja uma extracção de recursos prévia focada na obtenção de borracha natural, enxofre, zinco, carvão e derivados de petróleo como o butadieno, importante para a produção de borracha sintética. O processo produtivo inicia-se com a mistura das matérias primas das quais se obtém a borracha característica de um pneu que é em seguida, prensada e introduzida no circuito de manufactura das juntamente com os restantes componentes. Este processo inclui a produção do corpo do pneu designado por carcaça, a junção do pneu à respetiva jante e extrusão final. Esta última etapa consta do tratamento da superfície de contacto de modo a proporcionar uma maior resistência ao atrito a que o pneu está sujeito (Yokohama, 2014).

Fabricados todos os componentes que integram a constituição de um pneu surge então a fase de montagem e acabamento do produto final designado por “pneu verde”. O produto é ainda sujeito a um procedimento de vulcanização no qual se moldará o pneu à sua forma esférica através da aplicação de temperatura e pressões elevadas. Sujeitando os materiais a tais condições é possível estabelecer uma ligação molecular entre o enxofre e borracha que confere maior elasticidade e durabilidade ao produto. Após esta etapa os pneus seguem para inspecção estando prontos para serem adquiridos pelo consumidor (Yokohama, 2014).

A1.2 Manufactura

Dada a complexidade da cadeia de valor dos produtos é importante analisar a indústria automóvel portuguesa como uma extensão do sector a nível internacional, cada vez mais globalizado. Nos dias que correm é prática comum por parte das entidades de maior importância na produção veículos rodoviários pesados estabelecer os seus complexos industriais em diferentes locais do mundo, ainda que sob uma gestão comum.

A indústria automóvel verificou em anos recentes um abrandamento significativo na procura do produto, situação que desencadeou uma saturação do sector e que levou à necessidade de reformulação. Como parte da referida reformulação surge a intenção de descentralização da produção, passando as empresas a implementar complexos industriais em regiões como a Europa Central e de Leste, China ou Índia. O objectivo desta opção estratégica foi a optimização da relação custo-qualificação da mão-de-obra e benefícios de fundos de desenvolvimento regional. Cada unidade industrial está especializada na produção de determinado sistema ou módulo de um veículo promovendo em simultâneo inovação e desenvolvimento tecnológico (INTELI, 2005).

A Volvo, marca sueca de referência na produção de veículos ligeiros e pesados de mercadorias e passageiros é um bom exemplo da discutida globalização da produção. No ano de 2013 o grupo geria 74 complexos industriais distribuídos por todo o mundo e centrados na manufactura dos diversos componentes que integram a constituição de um automóvel. Fabrico de *chassis*, motores, caixas de velocidades, transmissões e montagens de pesados de mercadorias, ligeiros e pesados de passageiros são as principais funções atribuídas a estas instalações. Destacam-se ainda locais destinados apenas à remanufactura e testes de veículos e motores (Volvo Environmental Group, 2013).

Importa abordar a indústria automóvel em Portugal, onde a introdução da estratégia de produção modular de veículos foi um importante impulso no desenvolvimento do sector, até então pouco influente na economia nacional. No início da década de 1990 eram 12 as unidades existentes, embora a maioria fosse de pequenas dimensões e sem expressão no mercado (INTELI, 2005). Na base da evolução verificada está a aposta na manufactura de componentes para veículos iniciada com a inauguração da AutoEuropa em 1995. A introdução da referida fábrica marcou o início de um crescimento acentuado das vendas no mercado

interno através de um maior volume de montagem. No entanto, são as exportações que mais contribuem para o sector, pois contabilizam cerca de dois terços do total de vendas de todo o fabrico de componentes e montagem nacional. A produção de componentes para veículos inclui, hoje em dia, cerca de 200 empresas que representam 41 000 postos de trabalho, ou seja, 11,9% de todos os bens exportados e 4,1% do PIB nacional (AFIA, 2015). O destino das componentes automóveis exportadas, entre as quais motores, peças para motores ou moldes são especificados na Figura A1.5.

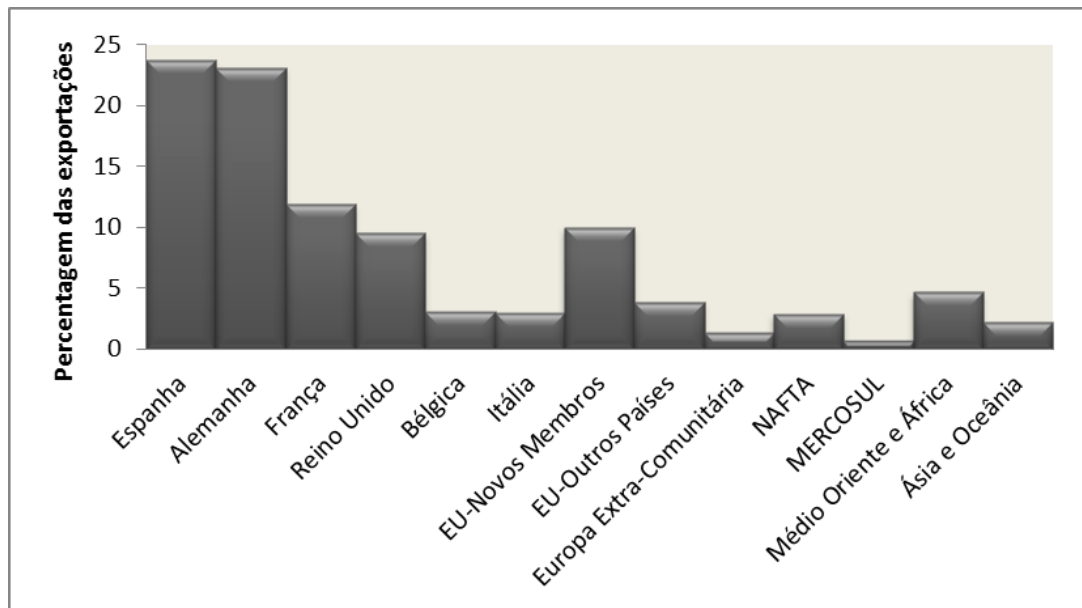


Figura A1.5 Destino das exportações de componentes fabricadas em Portugal no ano de 2014 (Fonte: adaptado de AFIA, 2015)

Para além da produção de módulos para veículos também existe especialização na montagem e produção integral de alguns modelos. Actualmente encontram-se estabelecidas 4 unidades de produção e montagem: Autoeuropa, Peugeot Citroen, Mitsubishi Fuso Truck Europe e Toyota Caetano. Na Tabela A1.8, abaixo apresentada, é possível consultar dados relativos à produção e montagem de veículos em território nacional no ano de 2014. Face a 2013, o ano de 2014 representa um aumento do número de unidades produzidas e exportadas (ACAP, 2014).

Tabela A1.8 Veículos automóveis produzidos em Portugal, por fábrica, em 2014 (Fonte: adaptado de ACAP, 2014)

Unidades	Ligeiros de Passageiros		Comerciais Ligeiros		Veículos Comerciais Pesados		Total	
%	Unidades	%	Unidades	%	Unidades	%	Unidades	%
Total Geral	117 744	100	40 868	100	2 897	100	161 509	100
Média Mensal	9 812	-	3 405	-	214	-	13 459	-
Exportação	116 820	99,2	36 128	88,4	2 528	87,3	155 476	96,3
Mercado Interno	924	0,8	4 740	11,6	369	12,7	6 033	3,7
Volkswagen Autoeuropa	102 250	86,8	-	-	-	-	102 250	63,3
Peugeot Citroen	15 494	13,2	38 016	93	-	-	53 510	33,1
Mitsubishi Fuso Truck Europe	-	-	1 320	3,2	2 765	95,4	4 085	2,5
Toyota Caetano	-	-	1 532	3,7	132	4,6	1 664	1,0

Em seguida serão introduzidas duas entidades relevantes na produção de veículos pesados em Portugal, as quais serviram de referência para tratamento de dados relativos a inventários de ciclo de vida (ICV) de manufactura.

A *Mitsubishi Fuso Truck Europe, S.A* é o maior representante de montagem de veículos pesados de mercadorias em Portugal. O seu complexo industrial tem uma área de 109 500 m² e está localizado no Tramagal, em Abrantes. Este destina-se à produção do modelo *Mitsubishi Canter* em três variantes de peso bruto. A referida entidade é detida pela *Mitsubishi Fuso Truck & Bus Corporation*, que por sua pertence ao grupo *Daimler AG* (Mitsubishi Fuso, 2015).

Responsável pela distribuição do modelo comercial *Canter* por toda a Europa, a entidade tem vindo a registar uma evolução positiva da produção e exportação de unidades, tendo em 2014 concebido cerca de 4 000 unidades (ACAP, 2014). Após anos de menor fulgor devido às circunstâncias económicas menos favoráveis, a empresa tem registado uma recuperação dos níveis de produção, conforme se observa na Figura A1.6.

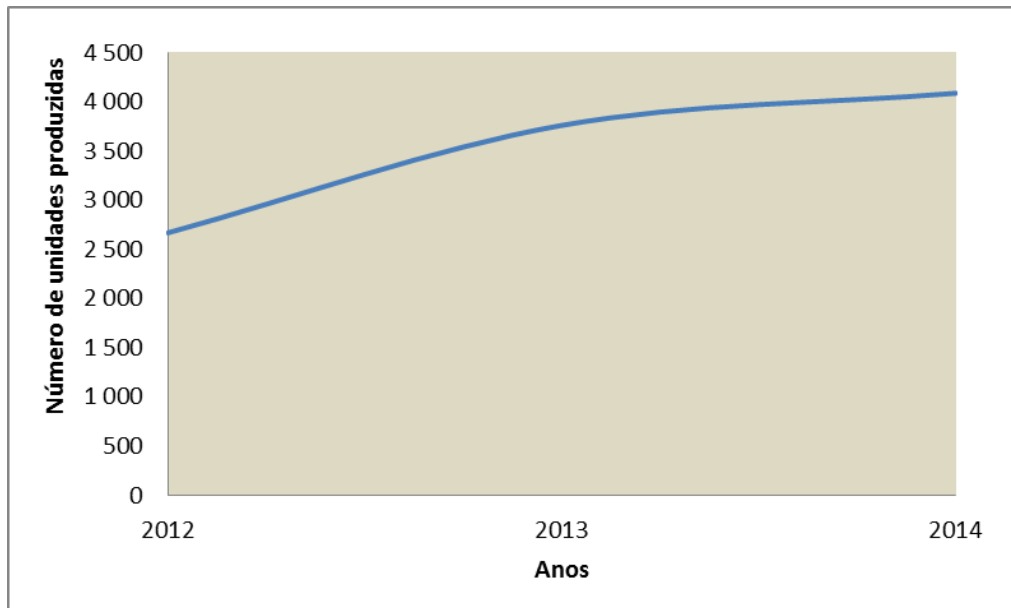


Figura A1.6 Evolução do número de veículos produzidos pelo complexo industrial Mitsubishi, no Tramagal (Fonte: adaptado de ACAP, 2014)

Avaliar a fase do ciclo de vida da manufactura do produto em questão é crucial no âmbito de qualquer ACV pois, a operação de um complexo industrial especializado na produção ou montagem de veículos tem a si associada consideráveis pressões ambientais. Para além das necessidades energéticas inerentes à manutenção da actividade, nas quais se incluem consumos de gás natural, electricidade e combustíveis fósseis o processo produtivo gera diversos *outputs* de natureza sólida, líquida e gasosa que são libertados no ambiente. Às pressões mencionadas acrescenta-se a extracção de água e matérias-primas ou o excessivo uso de solos com potencial valor ecológico (Spielmann *et al.*, 2007).

As pressões estão incluídas em todas as etapas da cadeia de produção, pelo que é importante compreender todo o fluxo que culmina com a concepção do produto final. As componentes necessárias para a manufactura do modelo são adquiridas a diversas empresas nacionais e internacionais, sendo a montagem feita no complexo industrial (Ferreira, 2013a). A Figura A1.7 ilustra o fluxo de montagem implementado para a produção do *Mitsubishi Canter*.

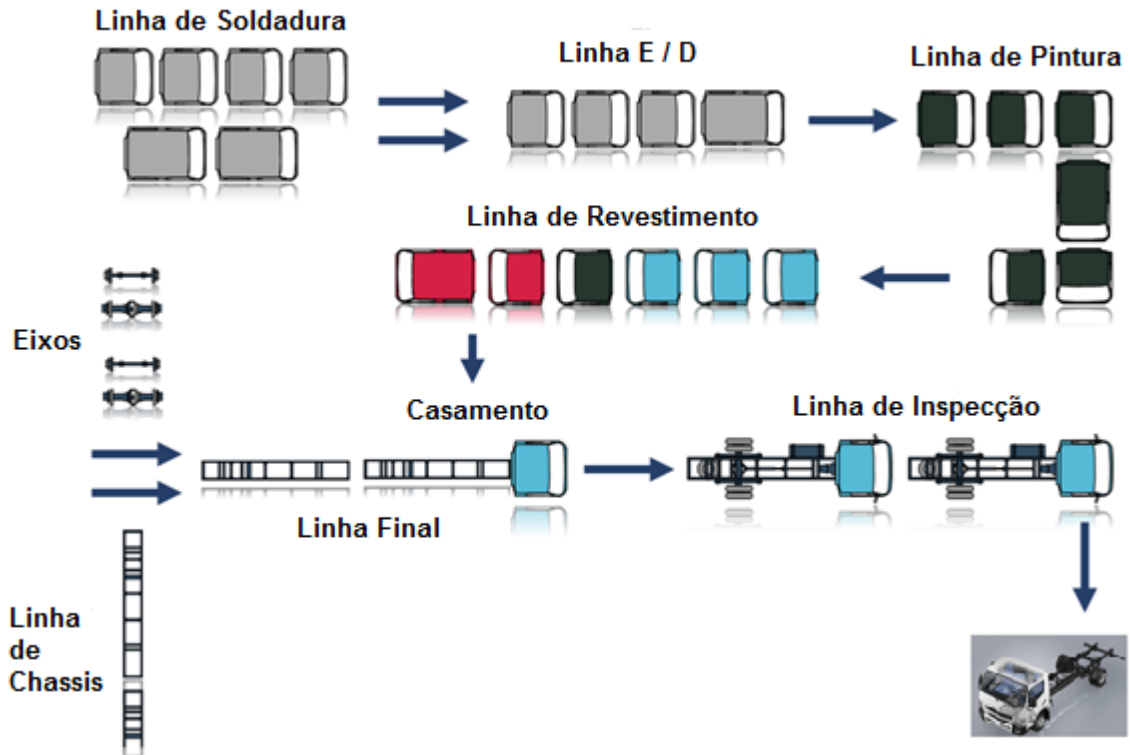


Figura A1.7 Fluxo de produção implementado na Mitsubishi Fuso Truck Europe, no Tramagal (Fonte: Ferreira, 2013)

De acordo com Ferreira (2013a), as diferentes fases da cadeia produtiva definem-se pelos seguintes processos:

Linha de Soldadura – Fabrico de portas e carroçarias;

Linha E/D – Linha de electrodeposição. Ocorre a lavagem, tratamento e aplicação de primário nas cabines através da submersão em tanques;

Linha de Pintura – Pintura robotizada das cabines;

Linha de revestimento – Montagem de todos os componentes no habitáculo como vidros, direcção, pedais, assentos, painéis de instrumentos ou tablier;

Eixos – Lavagem, tratamento, montagem de componentes associados e pintura de eixos;

Linha de Chassis – Montagem, tratamento e pintura de chassis;

Linha Final – Montagem de todos os componentes como eixos de chassis, depósitos de combustível ou motor;

Linha de Inspeção – Etapa final de produção na qual são testados as unidades finais e todas as suas funcionalidades.

O sector da indústria automóvel portuguesa inclui também a produção de veículos pesados de passageiros cuja função passa na, sua maioria, por assegurar o transporte rodoviário colectivo urbano, suburbano e de longa distância. A CaetanoBus – Fabricação de Carroçarias, S.A é uma empresa fundada em 2002 e pertencente ao Grupo Salvador Caetano.

A CaetanoBus produz autocarros, maioritariamente para clientes internacionais focando o seu *core business* na manufactura dos componentes e montagem final dos veículos, consoante as especificações dos clientes. Recentemente e tendo em conta a complexidade dos mercados foi adoptado o modelo de negócio *Complete Knock-Down* (CKD), no qual a empresa produz todos os componentes necessários e que serão posteriormente montados por uma outra entidade antes de ser entregue ao consumidor final (Guimarães, 2013). A CaetanoBus tem vindo a registar um aumento do número de unidades produzidas e vendidas desde de 2012. Apenas 13% de toda a sua produção se destina ao mercado nacional (ACAP, 2014).

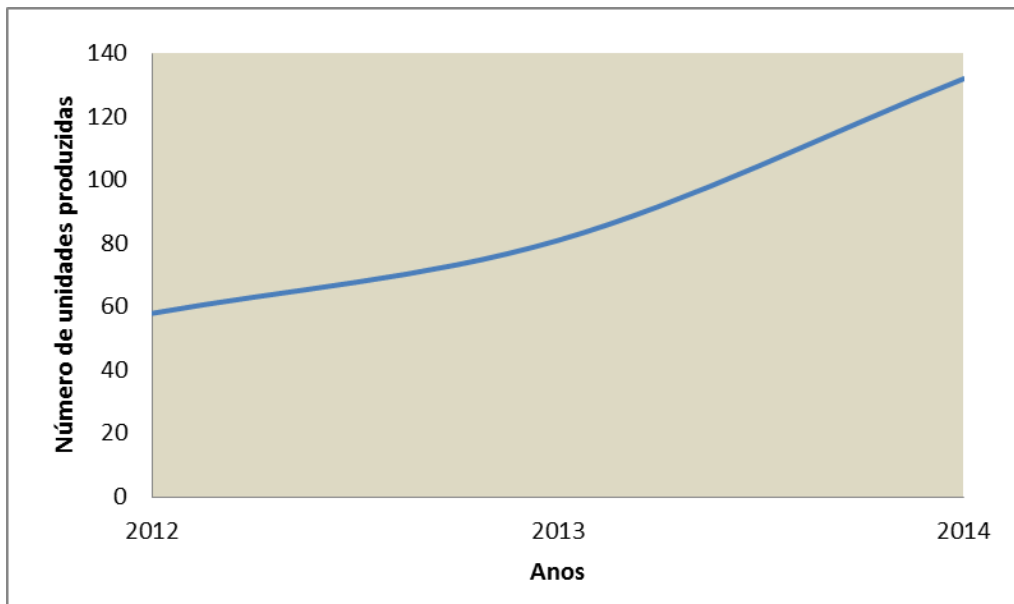


Figura A1.8 Evolução do número de veículos produzidos pela CaetanoBus, S.A (Fonte: adaptado de ACAP, 2014)

Conforme foi referido anteriormente, é essencial o conhecimento do fluxo produtivo de qualquer indústria quando se pretende aferir sobre as pressões ambientais que a mesma gera. Situada em Ovar nas instalações Toyota Caetano a produção de componentes e montagem divide-se em duas secções distintas: estruturas e acabamentos. A estrutura metálica é montada sobre o *chassis* do veículo dando forma ao habitáculo e conferindo a estabilidade essencial á operação do mesmo. A secção de acabamentos foca-se na produção de vidros, bancos, faróis, placas de pavimentos entre diversos outros componentes integrantes da estrutura (Guimarães, 2013). O fluxo de produção de autocarros de grandes e pequenas dimensões rege-se de acordo com o diagrama apresentado em seguida.

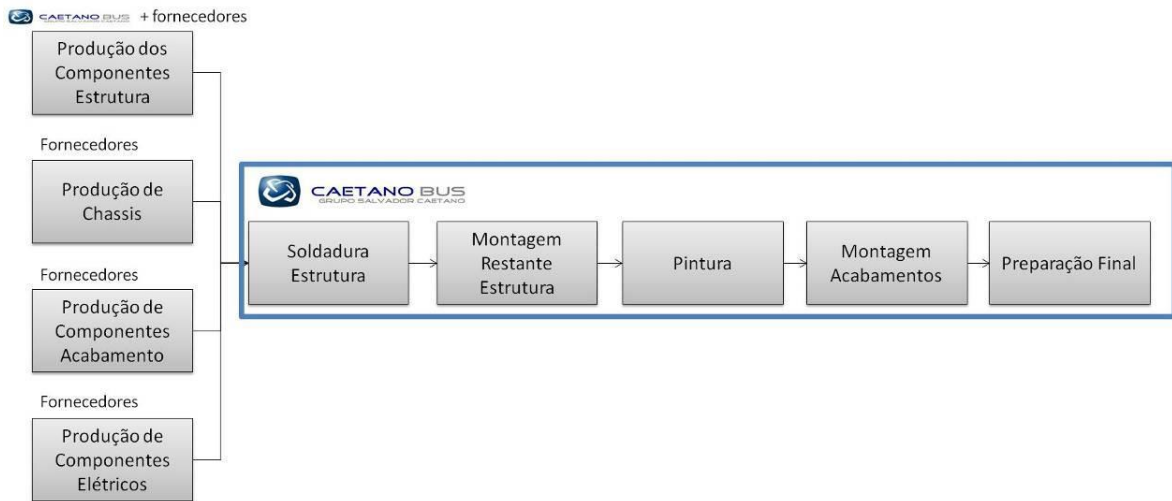


Figura A1.9 Fluxo de produção implementado na CaetanoBus, S.A (Fonte: Guimarães, 2013)

Cada etapa da cadeia de produção é caracterizada por actividades específicas que resultam na génese dos diversos componentes. A produção dos componentes de estrutura envolve o corte, furação e quinagem de tubos metálicos que farão parte da mesma. Estes são também componentes da estrutura peças de ligação entre o *chassis*, reforços estruturais ou fibras exteriores (Guimarães, 2013).

A produção de *chassis*, assim como de componentes de acabamento são da responsabilidade dos fornecedores. Também a parte eléctrica dos veículos fica ao encargo de entidades exteriores que desenvolvem o quadro eléctrico, cablagens, comandos de componentes audiovisuais entre vários outros. A soldadura da estrutura é a primeira etapa do processo de montagem dos veículos, na qual se ligam os componentes da estrutura ao *chassis*. Em seguida cada unidade é sujeita a um processo de pintura seguido de tratamento de protecção contra corrosão e gravilha, à qual se segue a montagem de peças de acabamento e realizam testes aos veículos. Por fim, o veículo está pronto para ser entregue ao consumidor final (Guimarães, 2013).

A1.3 Operação

De acordo com Facanha e Horvath (2006) a fase de operação é a que detém maior relevância no ciclo de vida de qualquer veículo rodoviário pesado movido com através de combustíveis fósseis. A sua utilização gera pressões ambientais consideráveis sob a forma de emissões de GEE e poluentes que se acumularão no ar, na água, nos solos, sistemas cruciais no suporte de ecossistemas. As quantidades emitidas por cada veículo dependem de um conjunto de factores nos quais se incluem o peso bruto do veículo, a quantidade de carga transportada, o combustível utilizado, velocidade de operação ou as condicionantes topográficas do terreno. Emissões de poluentes como CO₂, SO₂, Z_n, C_u e vários outros metais são directamente proporcionais ao consumo de combustíveis. CO, NO_x, PM e HC variam

consoante o peso bruto, factor de carga, declive, velocidades assumidas durante a operação do veículo e especificações mecânicas. (Spielmann *et al.*, 2007).

O conteúdo do combustível tem a si inerentes emissões de poluentes específicos. As emissões de COVNM, PAH, PCB, N₂O ou NH₃ são características de veículos a gasóleo, ainda que a quantidade libertada dependa das características do veículo. Nem todas as emissões resultam da queima de combustível no motor. O efeito de abrasão que ocorre nos pneus e estrada deve-se ao permanente contacto entre ambos e gera a libertação de partículas e metais para o ar. Também a acção de travagem produz semelhante efeito, uma vez que promove a fricção entre os pneus e discos de travagem. Embora em quantidades menores, também os solos e águas acumulam metais pesados que resultam o uso directo de um veículo, no último caso sob a forma iões (Spielmann *et al.*, 2007).

Perante o crescimento exponencial do uso do veículo rodoviário e consequente aumento da poluição derivada do mesmo tornou-se imperativo desenvolver medidas que permitissem mitigar tal situação. Neste âmbito, a União Europeia criou regulamentação específica em 1988 que visava o estabelecimento de tectos de emissão por parte dos fabricantes de automóveis nos modelos fabricados desse ano em diante. Após a primeira experiência, denominada norma Pré Euro, foram implementadas directivas em certos intervalos de tempo que incentivavam os produtores a desenvolver tecnologias que promovessem reduções graduais das emissões associadas à operação dos veículos pesados (EEA, 2014). As designadas normas Euro são de carácter obrigatório para qualquer veículo produzido dentro da União Europeia (Brás, 2012). A Tabela A1.9 apresenta informação relevante acerca das especificações de cada norma Euro para veículos pesados de mercadorias e passageiros.

Tabela A1.9 Evolução das normas Euro implementadas na UE (Fonte: adaptado de: Brás, 2012; EEA, 2014)

Norma Euro	Data de introdução	Directiva	Inovação introduzida	Resultados
Pré Euro	1988	Regulamento ECE 49	-	-
Euro I	1992	Directiva 91/542/EEC (Fase 1)	Melhoria do funcionamento de motores	Redução de CO
Euro II	1996	Directiva 91/542/EEC (Fase 2)	Válvulas EGR; Conversores catalíticos	Redução das emissões de CO
Euro III	2000	Directiva 1999/96/EEC (Fase 1)	Sondas lambda	Reduções, em 30%, de todas as emissões relativamente à norma Euro II
Euro IV	2005	Directiva 1999/96/EEC (Fase 2)	Sistema EBD2; Sondas lambda de larga escala	-
Euro V	2008	Directiva 1999/96/EEC (Fase 3)	Filtros de Partículas; Sistema de Redução Catalítica Selectiva (SCR)	Reduções das emissões de NO _x , em 70% e de PM em 85% face à norma Euro II
Euro VI	2014	Regulamento EC 595/2009	Filtros de partículas <i>diesel</i> ; Recirculação de gases de exauste (EGR)	Redução das emissões de NO _x , em 80% e de PM em 50%, face à norma Euro V

A aplicação de tais medidas promoveu reduções significativas de alguns dos mais relevantes poluentes contudo, não se revela suficiente para solucionar os problemas ambientais conhecidos e cientificamente comprovados para os quais o sector dos transportes rodoviários tanto tem contribuído. A solução pode passar pela mudança de paradigma relativo ao uso do transporte.

A1.4 Fim de vida

A fase de fim de vida de um veículo rodoviário caracteriza-se pelo desmantelamento do complexo aglomerado de materiais distintos que o constituem. Ainda que grande parte da sua

constituição seja metálica, os automóveis possuem vários outros materiais como borracha, plásticos ou vidro. A diversidade de constituintes automóveis com diferentes níveis de aproveitamento para valorização ou reciclagem e até perigosidade para o ambiente resultou no desenvolvimento de legislação e entidades especializadas na gestão da etapa terminal do ciclo de vida de qualquer veículo.

Em Portugal o Decreto-Lei 64/2008 estabelece o regime geral e princípios legais de gestão de veículos em fim de vida e no qual se atribui responsabilidade central de gestão e coordenação do sistema. A Valorcar, entidade gestora, registou uma taxa global de reutilização e valorização de 95,8% que constitui uma melhoria de 5% face ao ano de 2012 (Valorcar, 2015).

No momento em que um veículo deixa de ter utilidade para o proprietário a solução pode passar por entrega do mesmo a um operador que o desempenhe o abate. Desse momento em diante o veículo é sujeito a um complexo processo de tratamento e valorização das suas componentes, cujas etapas estão representadas na Figura A1.13

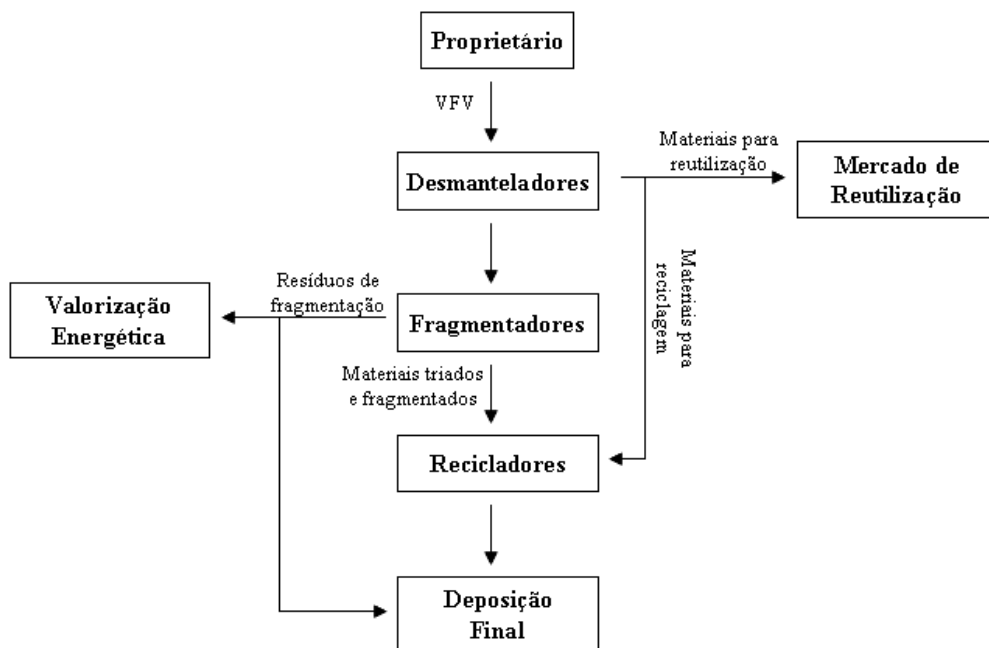


Figura A1.10 Diagrama representativo da cadeia de fim de vida de um veículo (Fonte: Rosa, 2009)

A primeira fase é o desmantelamento onde os componentes e materiais do veículo são recuperados e tratados, podendo posteriormente ser reutilizados ou valorizados mediante certas circunstâncias. Fluidos e baterias, devido à sua composição, serão tratados, enquanto materiais com valor comercial destinam-se a reutilização ou reciclagem (Rosa, 2009).

A fragmentação caracteriza-se pela trituração da estrutura do veículo resultando deste processos as seguintes fracções: metais ferrosos, metais não ferrosos e não metais que

incluem os plásticos ou borracha. Após a separação mecânica das fracções os metais são adquiridos por entidades especializadas em reciclagem como siderurgias e fundições, ao mesmo tempo que os restantes componentes, devido ao seu reduzido valor comercial, seguem para valorização energética ou aterro (Valorcar, 2015). A actividade de gestão de veículos em fim de vida é lucrativa para os operadores sobretudo, através da venda de materiais para reciclagem, reutilização ou valorização energética. No entanto, os materiais que seguem para aterro, por não se identificar qualquer solução melhor para os mesmos, não geram qualquer tipo de mais-valias económicas. Estes têm associados encargos inerentes ao seu manuseamento e tratamento. Todavia, várias modificações têm sido efectuadas com o objectivo de otimizar toda a cadeia de gestão de veículos em fim de vida e aumentar as percentagens de componentes aproveitadas por cada unidade (Rosa, 2009).

Uma análise realizada por Rosa (2009) permitiu avaliar o desempenho do sistema de gestão de veículos em fim de vida em Portugal. As principais conclusões retiradas indicam que embora a gestão do sistema de veículos em fim de vida se revele adequado, o facto de se verificar uma monopolização do sector por parte da Valorcar aumenta o risco de decréscimo de eficiência fruto da falta de competição e falta de alternativas mais eficientes aos produtores.

A1.5 Combustível

Uma abordagem coerente e completa ao ciclo de vida de um meio de transporte terá necessariamente de abranger a análise ao combustível, essencial para o funcionamento do mesmo. De acordo com dados estatísticos referentes ao ano de 2013, o gasóleo era utilizado por mais de 90% dos veículos rodoviários pesados. Tendo este facto em consideração surge como natural opção averiguar apenas o ciclo de vida do gasóleo, um dos principais produtos da refinação do petróleo.

O mercado de produtos derivados do petróleo registou, ao longo dos últimos 10 anos, uma evolução irregular da sua procura. Associa-se, por norma, ao sector do petróleo uma imagem de inconstância derivada da pontual alteração do preço por barril. De facto, a instabilidade política e social vivida em vários dos países relevantes na extracção e produção deste recurso influencia directamente a oferta e procura do mesmo. Acontecimentos como os choques petrolíferos ocorridos na década de 1970, a Primeira Guerra do Golfo em 1991 ou, mais recentemente o conflito armado no Iraque tiveram reflexo no valor deste recurso, cuja variação tem impactes negativos nos países com maior dependência energética exterior. A Figura A1.11 permite averiguar como decorreu a evolução do consumo de produtos petrolíferos na última década.

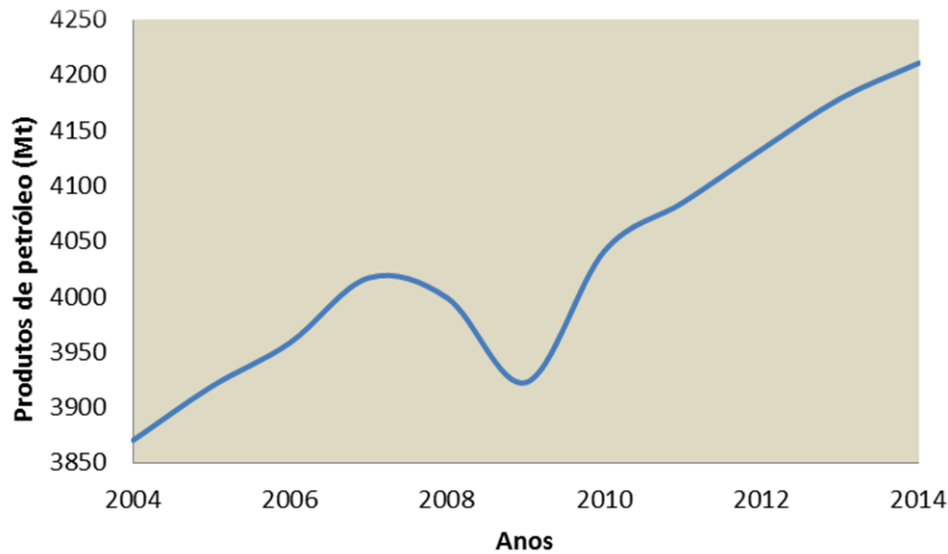


Figura A1.11 Evolução do consumo de produtos petrolíferos entre 2004 e 2014 (Fonte: adaptado de BP, 2015)

O ano de 2014 registou um aumento do consumo de 1,2% face ao ano de 2013, reforçando assim a tendência iniciada em 2010 de crescente recorrência a produtos petrolífero por parte dos países, de modo a sustentar os vários sectores dependentes de petróleo (BP, 2015). Perante este cenário perspectiva-se um agravamento das pressões e consequentes impactes ambientais devido à intensiva exploração deste recurso energético. O sector dos transportes apresenta-se como o consumidor maioritário de petróleo em Portugal, pelo que a inclusão de uma ACV relativa a este produto torna-se imperativa na obtenção do real passivo ambiental associado aos veículos rodoviários pesados (DGEG, 2013).

Portugal não tem qualquer expressão na actual conjuntura de produção de petróleo, situação que promove uma acentuada dependência energética de outros países para este produto específico. Perante a frágil posição em que se encontra e tendo em conta os abundantes recursos energéticos alternativos, faz sentido equacionar uma mudança de paradigma em relação às fontes energéticas usadas nos diversos sectores.

O petróleo continua a ser a grande fonte de energia primária em Portugal, representando cerca de 43% do consumo total de energia primária em 2012. Todavia, os últimos anos revelam uma ligeira evolução da aposta em fontes energéticas renováveis e gás natural (DGEG, 2013). Fruto da inexistência da produção de petróleo, Portugal recorre aos mercados externos para a aquisição deste produto, sendo a importação fraccionada por vários produtores. No total o país adquiriu mais de 12 Mt para esse mesmo ano, com Angola e Camarões a serem os principais fornecedores (DGEG, 2014).

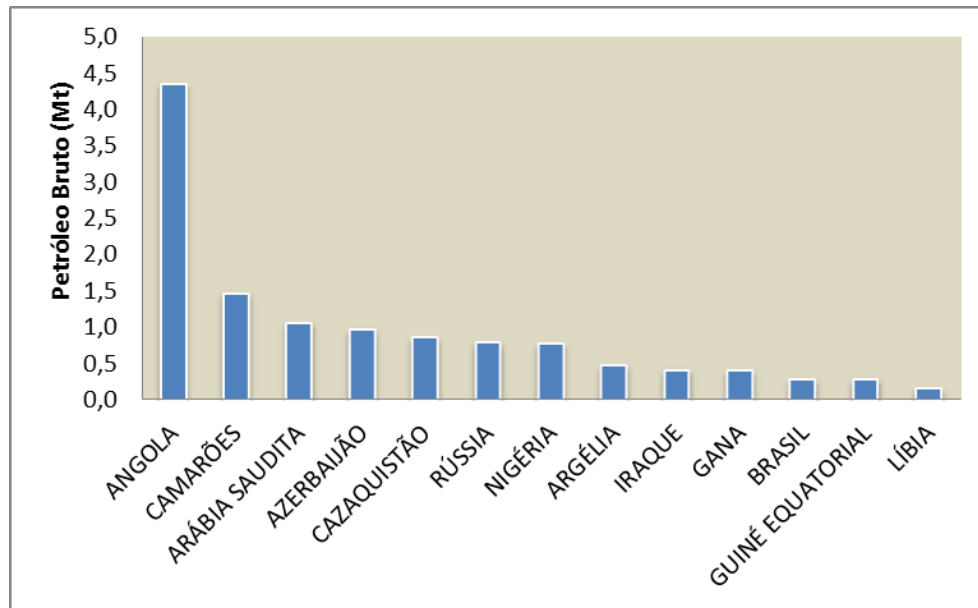


Figura A1.12 Origem das importações nacionais de petróleo bruto em 2013 (Fonte: adaptado de DGEG, 2014)

Os portos de Sines e Leixões são os principais locais de entrada de petróleo bruto e refinado, seguindo para as refinarias desses mesmos locais (Lopes, 2014). Aqui o petróleo bruto, sujeito a um processo de refinação, é convertido em produtos úteis como os combustíveis. O gasóleo é o principal combustível produzido e consumido em Portugal facto para qual muito contribui o sector dos veículos rodoviários pesados. No ano de 2013 registou-se a venda de mais de 79 kt de gasóleo. Através da Figura A1.13 torna-se clara a elevada procura do gasóleo face aos restantes combustíveis, reforçando assim a relevância que os transportes têm na intensidade e consumo em Portugal.

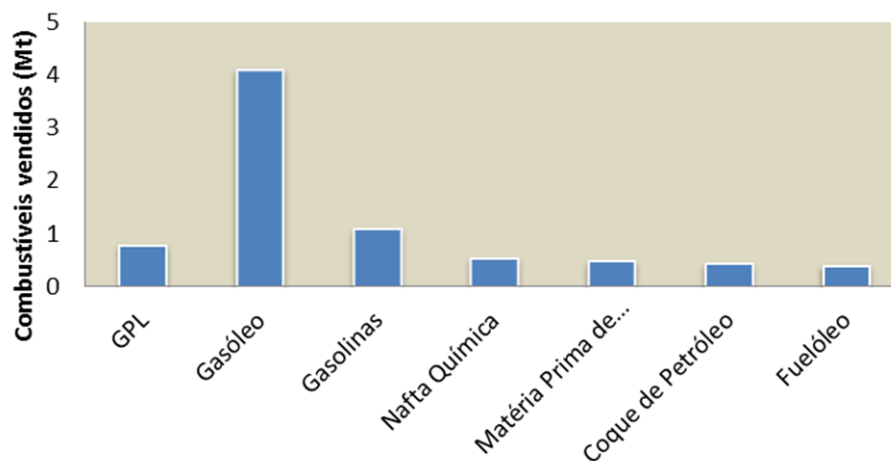


Figura A1.13 Vendas de produtos de petróleo em Portugal em 2013 (Fonte: adaptado de DGEG, 2014)

Anexo 2 Pressão anual do transporte pesado

Tabela A2.1 Pressão anual de cada veículo pertencente a cada classe de pesados rígidos de mercadorias

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (m ³ eq)	RE (t eq)	LU (m ² .a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (mg TCDD eq)	PWL (t N eq)
<7,5 t	Pré Euro	107	12,6	649	14,5	0,63	10,2	1,10
	Euro I	101	12,3	650	12,7	0,53	9,5	1,09
	Euro II	100	12,0	647	12,2	0,50	7,5	1,09
	Euro III	67	11,5	641	12,6	0,52	9,0	1,07
	Euro IV	68	11,0	635	11,5	0,40	6,5	1,06
	Euro V	64	10,9	633	11,3	0,38	5,5	1,05
>7,5-1 2t	Pré Euro	140	18,8	928	21,4	1,1	14,4	1,46
	Euro I	130	17,0	911	18,8	0,90	13,0	1,41
	Euro II	132	17,7	918	19,7	0,85	10,7	1,43
	Euro III	89	17,0	912	18,9	0,80	12,9	1,41
	Euro IV	90	16,2	903	17,4	0,72	9,3	1,39
	Euro V	85	16,0	901	16,9	0,71	8,0	1,38
>12-14 t	Pré Euro	174	27,5	1 455	29,7	1,37	17,7	1,79
	Euro I	161	24,3	1 435	26,5	1,14	16,0	1,72
	Euro II	160	23,8	1 430	25,6	1,03	12,9	1,71
	Euro III	117	24,4	1 436	26,7	1,02	15,9	1,73
	Euro IV	116	23,2	1 423	24,8	0,91	11,8	1,69
	Euro V	111	23,0	1 421	24,4	0,89	10,3	1,69
>14-20 t	Pré Euro	184	26,7	1 822	27,8	1,24	17,8	1,95
	Euro I	171	24,5	1 801	24,5	1,01	15,9	1,88
	Euro II	170	24,1	1 798	23,9	0,99	12,5	1,87
	Euro III	122	24,4	1 801	24,5	0,97	15,8	1,88
	Euro IV	124	23,7	1 792	22,9	0,88	11,5	1,87
	Euro V	118	23,3	1 788	22,1	0,80	9,7	1,85
>20-26 t	Pré Euro	199	45,1	3 458	44,8	1,94	26,2	2,86
	Euro I	187	40,4	3 430	40,4	1,67	23,6	2,77
	Euro II	185	41,6	3 425	39,6	1,65	18,9	2,76
	Euro III	162	42,5	3 434	41,0	1,66	23,7	2,78
	Euro IV	159	40,9	3 415	37,9	1,47	17,4	2,75
	Euro V	155	40,3	3 410	36,9	1,33	14,9	2,73

Anexo 2. Pressão anual do transporte pesado

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (m ³ eq)	RE (t eq)	LU (m ² .a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (mg TCDD eq)	PWL (t N eq)
>26-28 t	Pré Euro	239	43,0	7 356	16,6	0,64	25,3	3,00
	Euro I	232	42,2	7 350	15,4	0,57	23,3	2,98
	Euro II	232	42,0	7 348	15,0	0,54	17,4	2,98
	Euro III	200	42,1	7 350	15,3	0,55	23,1	2,98
	Euro IV	201	41,9	7 346	14,4	0,49	15,5	2,98
	Euro V	198	41,8	7 345	14,0	0,45	12,6	2,97
>28-32 t	Pré Euro	222	39,0	5 867	19,5	0,79	30,5	3,14
	Euro I	215	38,0	5 858	18,1	0,70	28,0	3,11
	Euro II	214	37,9	5 856	17,8	0,67	20,8	3,11
	Euro III	177	38,0	5 859	18,2	0,68	27,9	3,11
	Euro IV	179	37,8	5 856	17,0	0,61	18,6	3,11
	Euro V	175	37,7	5 854	16,5	0,55	15,0	3,10
>32 t	Pré Euro	295	52,1	9 380	16,5	0,58	28,5	3,99
	Euro I	288	51,4	9 374	15,5	0,52	26,3	3,97
	Euro II	288	51,4	9 374	15,3	0,49	19,6	3,97
	Euro III	248	51,3	9 375	15,5	0,51	26,1	3,97
	Euro IV	250	51,1	9 371	14,3	0,48	17,4	3,97
	Euro V	245	51,1	9 370	13,9	0,41	14,1	3,96

Anexo 2. Pressão anual do transporte pesado

Tabela A2.2 Pressão anual de cada veículo pertencentes a cada classe de pesados articulados de mercadorias

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (m ³ eq)	RE (t eq)	LU (m ² .a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (mg TCDD eq)	PWL (t N eq)
>14-20 t	Euro I	322	78,6	6 194	79,7	3,34	26,2	3,75
	Euro II	319	77,6	6 185	78,2	3,30	22,5	3,72
	Euro III	274	78,8	6 197	80,1	3,22	26,2	3,76
	Euro IV	271	76,2	6 162	75,2	2,94	21,5	3,71
	Euro V	266	76,2	6 162	75,1	2,93	19,4	3,71
>20-28 t	Euro I	307	85,8	7 029	83,9	3,87	37,0	4,50
	Euro II	303	84,5	7 018	82,0	3,42	30,7	4,46
	Euro III	287	90,0	7 069	90,0	3,58	38,6	4,63
	Euro IV	266	81,5	6 982	76,8	2,97	28,1	4,40
	Euro V	264	82,0	6 986	77,1	2,78	25,4	4,41
>28-34 t	Pré Euro	389	107,5	9 762	98,8	4,31	46,8	5,51
	Euro I	383	106,9	9 758	98,0	4,07	44,5	5,50
	Euro II	379	105,5	9 745	95,7	3,97	36,8	5,46
	Euro III	270	107,0	9 760	98,2	3,94	44,4	5,51
	Euro IV	265	104,3	9 726	93,1	3,58	34,6	5,46
	Euro V	257	102,7	9 711	90,4	3,23	30,4	5,40
>34-40 t	Pré Euro	517	150,6	12 744	132,3	5,95	56,9	7,31
	Euro I	482	140,7	12 653	130,6	5,08	51,1	7,09
	Euro II	481	140,1	12 648	129,6	5,04	44,1	6,99
	Euro III	445	141,4	12 661	131,9	4,97	51,2	7,04
	Euro IV	441	136,5	12 598	123,5	4,42	41,4	6,94
	Euro V	426	134,7	12 582	120,5	3,98	37,3	6,88
>40-50 t	Pré Euro	550	159,0	14 780	144,7	5,94	59,0	7,70
	Euro I	512	150,1	14 698	131,8	5,11	53,4	7,43
	Euro II	518	148,2	14 680	128,8	5,02	45,4	7,37
	Euro III	476	150,2	14 699	131,9	4,97	53,3	7,43
	Euro IV	469	145,9	14 643	124,6	4,46	43,0	7,36
	Euro V	460	144,4	14 629	121,9	4,02	38,8	7,30
>50-60 t	Pré Euro	638	183,6	17 922	161,8	6,67	70,1	9,04
	Euro I	595	171,4	17 810	144,2	5,64	62,7	8,67
	Euro II	593	170,6	17 803	142,9	5,59	53,3	8,65
	Euro III	549	172,0	17 817	145,2	5,51	62,7	8,69
	Euro IV	540	167,0	17 753	136,6	4,91	49,9	8,59
	Euro V	537	167,6	17 760	136,8	4,55	45,5	8,60

Anexo 2. Pressão anual do transporte pesado

Tabela A2.3 Pressão anual de cada veículo pertencente a cada classe de pesados de passageiros

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (m ³ eq)	RE (t eq)	LU (m ² .a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (mg TCDD eq)	PWL (t N eq)
<= 15 t Urbano	Pré Euro	213	14,1	713	16,2	0,74	6,4	1,69
	Euro I	199	12,1	694	13,3	0,59	5,3	1,62
	Euro II	198	11,7	691	12,5	0,55	4,3	1,61
	Euro III	143	12,1	691	13,3	0,60	5,3	1,62
	Euro IV	150	11,1	682	11,8	0,50	4,9	1,59
	Euro V	141	11,0	680	11,1	0,47	3,7	1,59
15-18 t Urbano	Pré Euro	232	16,9	860	19,3	0,90	7,2	1,85
	Euro I	218	14,8	842	16,4	0,72	6,4	1,79
	Euro II	216	14,4	838	15,6	0,68	5,3	1,78
	Euro III	156	14,9	839	16,4	0,73	6,4	1,80
	Euro IV	163	13,8	828	14,7	0,62	6,0	1,76
	Euro V	153	13,6	827	13,9	0,59	4,7	1,76
>18 t articulado	Pré Euro	343	41,3	2 097	47,8	2,28	15,1	2,89
	Euro I	316	36,0	2 048	40,1	1,79	12,7	2,73
	Euro II	313	35,0	2 039	38,5	1,72	11,0	2,70
	Euro III	236	36,0	2 045	40,2	1,80	13,8	2,73
	Euro IV	241	33,2	2 018	35,9	1,51	12,6	2,64
	Euro V	228	32,7	2 015	34,5	1,48	10,8	2,63
<=18 t Interurbano	Pré Euro	302	27,4	1 955	28,0	1,23	9,9	2,50
	Euro I	286	25,6	1 938	25,3	1,12	8,8	2,48
	Euro II	216	25,6	1 939	25,1	1,11	7,5	2,45
	Euro III	209	26,8	1 947	27,1	1,12	9,3	2,51
	Euro IV	222	26,6	1 944	26,6	1,09	9,2	2,48
	Euro V	209	26,3	1 942	25,5	1,04	7,5	2,48
15-18 t Ocasional	Pré Euro	348	51,7	3 130	57,6	2,83	15,2	2,94
	Euro I	322	45,7	3 075	48,9	2,23	12,5	2,75
	Euro II	319	44,5	3 064	47,0	2,16	11,1	2,72
	Euro III	270	46,5	3 075	49,8	2,23	13,3	2,98
	Euro IV	266	44,0	3 055	46,2	1,95	11,8	2,72
	Euro V	255	43,4	3 050	44,9	1,93	10,4	2,70
<=18 t Ocasional	Pré Euro	329	34,5	2 885	32,9	1,56	10,3	2,75
	Euro I	314	33,1	2 872	30,8	1,40	9,4	2,71
	Euro II	245	33,2	2 873	30,7	1,39	8,2	2,71
	Euro III	238	34,4	2 880	32,7	1,43	9,9	2,75
	Euro IV	252	34,5	2 881	32,6	1,36	9,9	2,75
	Euro V	238	34,1	2 877	31,2	1,22	8,1	2,74

Anexo 2. Pressão anual do transporte pesado

Classe de peso bruto	Norma Euro	WA (m ³ eq)	RE (t eq)	LU (m ² .a eq)	GHG (t CO ₂ eq)	PA (t NO _x eq)	DF (mg TCDD eq)	PWL (t N eq)
<=18 t Expresso	Pré Euro	450	72,9	4 591	80,2	3,84	18,9	4,05
	Euro I	428	69,2	4 556	74,7	3,45	17,1	3,94
	Euro II	358	69,4	4 559	74,9	3,54	18,3	3,94
	Euro III	352	70,7	4 568	77,0	3,42	17,7	3,99
	Euro IV	372	72,7	4 586	79,7	3,32	18,5	4,05
	Euro V	256	71,6	4 575	77,2	3,05	16,3	4,01

Anexo 3 Dados para a produção de inventários de ciclo de vida

Tabela A3.1 Conjunto de funções da base de dados Artemis/HBEFA utilizadas para modelar emissões de CO, NO_x, PM, HC e consumo de combustível

Model	Name	Form of function	Functions	Number	rxp Funcitons
0	Hoerl model	$y = a.b^x.X^c$	$((a*(b^x))^*(x^c))$	3	$((a*(b^x))^*(x^c))$
1	Two power fits model	$y = a.X^b + c.X^d$	$((a*(x^b))+(c*(x^d)))$	4	$((a*(x^b))+(c*(x^d)))$
2	Bleasdale model	$y = (a + b.x)^{-c}$	$((a+(b*x))^{((-1)/c)})$	3	$((a+(b*x))^{((-1)/c)})$
3	Langmuir Binding Isotherm	$y = a + b.x + \{[c-b][1-\exp(-d.x)]/d\}$	$((a+(b*x))+(((c-b)*(1-\exp((-1)*d)*x))/d))$	4	$((a+(b*x))+(((c-b)*(1-rxp((-1)*d)*x))/d))$
4	Two-phase exponential decay	$y = e + a.\exp(-b.x) + c.\exp(-d.x)$	$((e+(a*\exp((-1)*b)*x))+(c*\exp((-1)*d)*x))$	5	$((e+(a*rxp((-1)*b)*x))+(c*rxp((-1)*d)*x))$
5	Reciprocal quadratic model	$y = 1/(c.X^2 + b.x + a)$	$(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a))$	3	$(1/(((c*(x^2)))+(b*x))+a))$
6	Harris model	$y = 1/(a + b.X^c)$	$(1/(a+(b*(x^c))))$	3	$(1/(a+(b*(x^c))))$
7	Reciprocal model	$y = 1/(a + b.x)$	$(1/(a+(b*x)))$	2	$(1/(a+(b*x)))$
8	Sigmoidal	$y = a - b.\exp(-c.X^d)$	$(a-(b*\exp((-1)*c)*(x^d))))$	4	$(a-(b*rxp((-1)*c)*(x^d))))$
9	Negative natural logarithm model	$y = a/[1 + b.\exp(-c.x)]$	$a/(1+(b*\exp((-1)*c)*x))$	3	$a/(1+(b*rxp((-1)*c)*x))$
10	Reciprocal exponential model	$y = a + \{b/[1 + \exp(-c + d.\ln(x) + e.x)]\}$	$(a+(b/(1+\exp((((1)*c)+(d*\ln(x)))+(e*x))))))$	5	$(a+(b/(1+rxp((((1)*c)+(d*\ln(x)))+(e*x))))))$
11	One-phase exponential decay model	$y = c + a.\exp(-b.x)$	$(c+(a*\exp((-1)*b)*x))$	3	$(c+(a*rxp((-1)*b)*x))$
12	Exponential growth with	$y = c + a.\exp(b.x)$	$(c+(a*\exp(b*x)))$	3	$(c+(a*rxp(b*x)))$

Anexo 3. Dados para a produção de inventários de ciclo de vida

Model	Name	Form of function	Functions	Number	rxp Funcitons
	baseline				
13	Vapour Pressure model	$y = \exp[(a + b/x) + c \cdot \ln(x)]$	$\exp((a+(b/x))+(c*\ln(x)))$	3	$\text{rxp}((a+(b/x))+(c*\ln(x)))$
14	Cubic model	$y = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d$	$((a*(x^3))+(b*(x^2))+(c*x))+d$	4	$((a*(x^3))+(b*(x^2))+(c*x))+d$
15	Quadratic model	$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$	$((a*(x^2))+(b*x))+c$	3	$((a*(x^2))+(b*x))+c$
14	First Order Polynomial	$y = a \cdot x + b$	$a \cdot x + b$	2	$a \cdot x + b$
15	Fourth Order Polynomial	$y = a \cdot x^4 + b \cdot x^3 + c \cdot x^2 + d \cdot x + e$	$a \cdot x^4 + b \cdot x^3 + c \cdot x^2 + d \cdot x + e$	5	$a \cdot x^4 + b \cdot x^3 + c \cdot x^2 + d \cdot x + e$
16	Fifth Order Polynomial	$y = a \cdot x^5 + b \cdot x^4 + c \cdot x^3 + d \cdot x^2 + e \cdot x + f$	$a \cdot x^5 + b \cdot x^4 + c \cdot x^3 + d \cdot x^2 + e \cdot x + f$	6	$a \cdot x^5 + b \cdot x^4 + c \cdot x^3 + d \cdot x^2 + e \cdot x + f$
17	Sixth Order Polynomial	$y = a \cdot x^6 + b \cdot x^5 + c \cdot x^4 + d \cdot x^3 + e \cdot x^2 + f \cdot x + g$	$a \cdot x^6 + b \cdot x^5 + c \cdot x^4 + d \cdot x^3 + e \cdot x^2 + f \cdot x + g$	7	$a \cdot x^6 + b \cdot x^5 + c \cdot x^4 + d \cdot x^3 + e \cdot x^2 + f \cdot x + g$
18	Second Order Polynomial	$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$	$a \cdot x^2 + b \cdot x + c$	3	$a \cdot x^2 + b \cdot x + c$
19	Third Order Polynomial	$y = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d$	$a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d$	4	$a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d$

Tabela A3.2 Factores de emissão relativos a emissões de metais pesados

Classe	A _s (µg/kg fuel)	C _d (µg/kg fuel)	C _r (µg/kg fuel)	C _u (µg/kg fuel)	H _g (µg/kg fuel)	N _i (µg/ kg fuel)	P _b (µg/kg fuel)	S _e (µg/kg fuel)	Z _n (µg/kg fuel)
Heavy Duty Trucks	0,1	8,7	30,0	21,2	5,3	8,8	52,1	0,1	1 738
Urban buses and coaches	0,1	8,7	30,0	21,2	5,3	8,8	52,1	0,1	1 738

Anexo 3. Dados para a produção de inventários de ciclo de vida

Tabela A3.3 Factores de emissão relativos a poluentes em pesados de mercadorias

Classe	Norma Euro	NH ₃ (mg/km)	COVNM (g/km)	CH ₄ (g/km)	PCDD (pg I Teq/km)	PCDF (pg I Teq/km)
Heavy Duty Truck Diesel <=7,5 t	Pré Euro	3	1,07	85	25	38
	Euro I	3	0,193	85	25	38
	Euro II	3	0,123	54,4	25	38
	Euro III	3	0,115	50,2	25	38
	Euro IV	3	0,005	2,55	25	38
	Euro V	11	0,005	2,55	0,31	0,45
Heavy Duty Truck Diesel 7,5- 16 t	Pré Euro	3	0,776	20	25	38
	Euro I	3	0,326	20	25	38
	Euro II	3	0,207	12,8	25	38
	Euro III	3	0,189	11,8	25	38
	Euro IV	3	0,008	0,6	25	38
	Euro V	11	0,008	0,6	0,31	0,45
Heavy Duty Truck Diesel 16 - 32 t	Pré Euro	3	0,486	70	25	38
	Euro I	3	0,449	70	25	38
	Euro II	3	0,29	44,8	25	38
	Euro III	3	0,278	41,3	25	38
	Euro IV	3	0,01	2,1	25	38
	Euro V	11	0,01	2,1	0,31	0,45
Heavy Duty Truck Diesel >32 t	Pré Euro	3	0,534	70	25	38
	Euro I	3	0,510	70	25	38
	Euro II	3	0,326	44,8	25	38
	Euro III	3	0,308	41,3	25	38
	Euro IV	3	0,012	2,1	25	38
	Euro V	11	0,012	2,1	0,31	0,45

Tabela A3.4 Factores de emissão relativos a poluentes em pesados de passageiros

Classe	Norma Euro	NH ₃ (mg/km)	COVNM (g/km)	CH ₄ (g/km)	PCDD (pg I Teq/km)	PCDF (pg I Teq/km)
Urban Bus standard	Pré Euro	3	1,99	175	25	38
	Euro I	3	0,706	175	25	38
	Euro II	3	0,463	113,8	25	38
	Euro III	3	0,409	103,3	25	38
	Euro IV	3	0,022	5,25	25	38
	Euro V	3	0,022	5,25	0,31	0,45
Coach standard >18 t	Pré Euro	3	0,661	70	25	38
	Euro I	3	0,624	70	25	38
	Euro II	3	0,416	45,5	25	38
	Euro III	3	0,399	41,3	25	38
	Euro IV	3	0,021	2,1	25	38
	Euro V	3	0,021	2,1	0,31	0,45

Anexo 3. Dados para a produção de inventários de ciclo de vida

Tabela A5.5 Factores de emissão relativos a poluentes em transportes pesados

Classe	Norma Euro	N ₂ O (mg/km)
HDV Rigid 7,5–12 t	Pré Euro	30
	Euro I	6
	Euro II	5
	Euro III	3
	Euro IV	6
	Euro V	15
HDV Rigid and articulated 12– 28 t and coaches (all types)	Pré Euro	30
	Euro I	7
	Euro II	6
	Euro III	4
	Euro IV	11,4
	Euro V	33,6
Rigid and articulated 28–34 t	Pré Euro	30
	Euro I	10
	Euro II	10
	Euro III	6
	Euro IV	17,4
	Euro V	51,6
Articulated > 34 t	Pré Euro	30
	Euro I	11
	Euro II	10
	Euro III	7
	Euro IV	19,2
	Euro V	55,8
Diesel urban busses (all types)	Pré Euro	30
	Euro I	12
	Euro II	12
	Euro III	6
	Euro IV	12,8
	Euro V	33,2